

# ジルコニウムタングステン電極の百科事典

中钨智造科技有限公司  
CTIA GROUP LTD

CTIA GROUP LTD

タングステン、モリブデン、レアアース産業向けのインテリジェント製造のグローバル  
リーダー

著作権および法的責任に関する声明

## CTIA GROUP の紹介

CHINATUNGSTEN ONLINE によって設立された独立した法人格を持つ完全子会社である CTIA GROUP LTD.は、産業用インターネット時代におけるタングステンおよびモリブデン材料のインテリジェントで統合された柔軟な設計と製造の促進に専念しています。CHINATUNGSTEN ONLINE は、www.chinatungsten.com を出発点として 1997 年に設立され、中国初のトップクラスのタングステン製品ウェブサイトであり、タングステン、モリブデン、レアアース産業に焦点を当てた国内の先駆的な電子商取引会社です。CTIA GROUP は、タングステンおよびモリブデン分野での約 30 年の深い経験を活用して、親会社の卓越した設計および製造能力、優れたサービス、およびグローバルなビジネスの評判を継承し、タングステン化学、タングステン金属、超硬合金、高密度合金、モリブデン、およびモリブデン合金の分野で包括的なアプリケーションソリューションプロバイダーになります。

過去 30 年間で、CHINATUNGSTEN ONLINE は、20 以上の言語をカバーする 200 以上の多言語タングステンおよびモリブデンの専門 Web サイトを確立し、タングステン、モリブデン、およびレアアースに関連するニュース、価格、および市場分析の 100 万ページを超えています。2013 年以来、WeChat 公式アカウント「CHINATUNGSTEN ONLINE」は 40,000 を超える情報を公開し、約 100,000 人のフォロワーにサービスを提供し、世界中の数十万人の業界専門家に毎日無料の情報を提供しています。ウェブサイトクラスターと公式アカウントへの累積アクセス数が数十億回に達し、タングステン、モリブデン、レアアース産業の世界的で権威ある情報ハブとして認められ、24 時間年中無休の多言語ニュース、製品性能、市場価格、市場動向サービスを提供しています。

CHINATUNGSTEN ONLINE の技術と経験に基づいて、CTIA GROUP は顧客のパーソナライズされたニーズを満たすことに重点を置いています。AI 技術を活用し、特定の化学組成と物理的特性(粒子サイズ、密度、硬度、強度、寸法、公差など)を備えたタングステンおよびモリブデン製品を顧客と共同で設計および製造しています。型開き、試作から仕上げ、梱包、物流に至るまで、全工程の一貫サービスを提供しています。過去 30 年間にわたり、CHINATUNGSTEN ONLINE は世界中の 130,000 を超える顧客に 500,000 種類を超えるタングステンおよびモリブデン製品の研究開発、設計、生産サービスを提供し、カスタマイズされた柔軟でインテリジェントな製造の基盤を築いてきました。この基盤に基づいて、CTIA GROUP は、産業用インターネット時代におけるタングステンおよびモリブデン材料のインテリジェント製造と統合イノベーションをさらに深めます。

CTIA GROUP のハンズ博士と彼のチームは、30 年以上の業界経験に基づいて、タングステン、モリブデン、レアアースに関連する知識、技術、タングステン価格、市場動向分析を執筆し、公開し、タングステン業界と自由に共有しています。ハンズ博士は、1990 年代からタングステンおよびモリブデン製品の電子商取引と国際貿易、ならびに超硬合金および高密度合金の設計と製造において 30 年以上の経験を持ち、国内外でタングステンおよびモリブデン製品の有名な専門家です。CTIA GROUP のチームは、専門的で質の高い情報を業界に提供するという原則を堅持し、生産慣行と市場の顧客のニーズに基づいて技術研究論文、記事、業界レポートを継続的に作成し、業界で広く賞賛されています。これらの成果は、CTIA GROUP の技術革新、製品プロモーション、業界交流をしっかりとサポートし、世界的なタングステンおよびモリブデン製品製造および情報サービスのリーダーとなることを推進しています。



### 著作権および法的責任に関する声明

CTIA GROUP LTD

Zirconium Tungsten Electrode Introduction

1. Overview of Zirconium Tungsten Electrode

Zirconium tungsten electrode is a non-radioactive welding electrode made by doping a small amount of zirconium oxide (ZrO<sub>2</sub>) into a high-purity tungsten base. It is specifically optimized for AC TIG (Tungsten Inert Gas) welding. Its excellent arc stability and outstanding resistance to contamination make it the preferred choice for welding aluminum, magnesium, and their alloys.

2. Types of Zirconium Tungsten Electrode

Grade	Tip Color	ZrO <sub>2</sub> Content (wt.%)	Characteristics & Applications
WZ3	Brown	0.2-0.4	Ideal for low to medium intensity AC welding; cost-effective
WZ38	White	0.7-0.9	Industry-standard grade with excellent overall performance

3. Standard Sizes & Packaging of Zirconium Tungsten Electrode

Diameter (mm)	Length (mm)	Regular Coloring	Packing:
1.0	150 / 175	Black / Gold / Blue	10 pcs/box
1.6	150 / 175	Black / Gold / Blue	10pcs/box
2.0	150 / 175	Black / Gold / Blue	10pcs/box
2.4	150 / 175	Black / Gold / Blue	10pcs/box
3.2	150 / 175	Black / Gold / Blue	10pcs/box
4.0	150 / 175	Black / Gold / Blue	10pcs/box
Remark	The sizes can be customized		

4. Applications of Zirconium Tungsten Electrode

- Welding of aluminum and aluminum alloys: such as doors, windows, frames, and automotive body structures
- Welding of magnesium and magnesium alloys: widely used in aerospace lightweight components
- AC welding of stainless steel (under specific low-current conditions)
- Precision welding in aerospace, rail transit, pressure vessels, etc.
- Used in automated welding systems and robotic torch assemblies

5. Procurement Information

Email: sales@chinatungsten.com  
Phone: +86 592 5129595; 592 5129696  
Website: www.tungsten.com.cn

著作権および法的責任に関する声明

## ディレクトリ

### 第1章:はじめに

- 1.1 ジルコニウムタングステン電極の概要
- 1.2 ジルコニウムタングステン電極の歴史と発展
- 1.3 現代産業におけるジルコニウムタングステン電極の重要性

### 第2章:ジルコニウムタングステン電極の基本概念

- 2.1 ジルコニウムタングステン電極の定義
- 2.2 ジルコニウムタングステン電極の化学組成
- 2.3 ジルコニウムタングステン電極と他のタングステン電極の比較
- 2.4 ジルコニウムタングステン電極の物理的および化学的性質
  - 2.4.1 融点と熱安定性
  - 2.4.2 電気伝導率と熱伝導率
  - 2.4.3 耐酸化性と耐食性
  - 2.4.4 機械的特性(硬度、延性など)

### 第3章:ジルコニウムタングステン電極のグレード

- 3.1 ジルコニウムタングステン電極グレードの分類
  - 3.1.1 国際的に使用されるグレード (WZ3、WZ8 など)
  - 3.1.2 国内ブランドの命名規則
- 3.2 各グレードのジルコニウム含有量と性能の違い
- 3.3 ジルコニウムタングステン電極グレードの選択と応用シナリオ
- 3.4 ジルコニウムタングステン電極グレードの標準化と国際比較

### 第4章:ジルコニウムタングステン電極の特性

- 4.1 ジルコニウムタングステン電極のアーク安定性
- 4.2 ジルコニウムタングステン電極の点火性能と電極寿命
- 4.3 ジルコニウムタングステン電極の耐燃焼性と汚染防止能力
- 4.4 さまざまな溶接環境におけるジルコニウムタングステン電極の性能
  - 4.4.1 直流はんだ付け (DC)
  - 4.4.2 AC 溶接(AC)
- 4.5 ジルコニウムタングステン電極の熱力学的特性
- 4.6 ジルコニウムタングステン電極の微細構造解析
- 4.7 CTIA GROUP LTD の ジルコニウム タングステン電極 MSDS

### 第5章:ジルコニウムタングステン電極の調製と製造プロセス

- 5.1 ジルコニウムタングステン電極の原料の調製
  - 5.1.1 タングステン粉末とジルコニウム化合物の選択
  - 5.1.2 原材料の純度と前処理
- 5.2 ジルコニウムタングステン電極の粉末冶金プロセス
  - 5.2.1 混合と粉砕
  - 5.2.2 プレス成形

#### 著作権および法的責任に関する声明

- 5.2.3 焼結プロセス
- 5.3 ジルコニウムタングステン電極の成形技術
  - 5.3.1 絞りと押し出し
  - 5.3.2 熱処理と焼きなまし
- 5.4 ジルコニウムタングステン電極の表面処理と研磨
- 5.5 ジルコニウムタングステン電極の品質管理とプロセスの最適化

## 第6章:ジルコニウムタングステン電極の製造技術

- 6.1 ジルコニウムタングステン電極のドーピング技術
  - 6.1.1 酸化ジルコニウムのドーピング方法
  - 6.1.2 ドーピング均一性管理
- 6.2 ジルコニウムタングステン電極の高温焼結技術
- 6.3 ジルコニウムタングステン電極の精密加工技術
- 6.4 ジルコニウムタングステン電極の自動化とインテリジェント生産技術
- 6.5 ジルコニウムタングステン電極のグリーン生産と環境保護技術
- 6.6 生産における一般的な問題と解決策

## 第7章:ジルコニウムタングステン電極の用途

- 7.1 TIG 溶接におけるジルコニウムタングステン電極の応用
  - 7.1.1 アルミニウムおよびアルミニウム合金の溶接
  - 7.1.2 ステンレス鋼とマグネシウム合金の溶接
- 7.2 プラズマ切断およびスプレーにおけるジルコニウムタングステン電極の応用
- 7.3 ジルコニウムタングステン電極のその他の産業用途
  - 7.3.1 航空宇宙
  - 7.3.2 原子力産業
  - 7.3.3 医療機器製造
- 7.4 特殊環境におけるジルコニウムタングステン電極の応用
- 7.5 ジルコニウムタングステン電極の代替品と競合分析

## 第8章:ジルコニウムタングステン電極の製造設備

- 8.1 ジルコニウムタングステン電極の原料加工装置
  - 8.1.1 粉碎および混合装置
  - 8.1.2 スクリーニングおよびグレーディング機器
- 8.2 ジルコニウムタングステン電極のプレス成形装置
  - 8.2.1 油圧プレスと静水圧プレス
  - 8.2.2 金型の設計と製造
- 8.3 ジルコニウムタングステン電極の焼結および熱処理装置
  - 8.3.1 高温焼結炉
  - 8.3.2 真空熱処理炉
- 8.4 ジルコニウムタングステン電極の精密加工装置
  - 8.4.1 伸線機と切断機
  - 8.4.2 表面研磨装置
- 8.5 ジルコニウムタングステン電極の品質検査装置

### 著作権および法的責任に関する声明

## 8.6 ジルコニウムタングステン電極の機器のメンテナンスと最適化

### 第9章:ジルコニウムタングステン電極の国内外の規格

- 9.1 ジルコニウムタングステン電極の国際規格
  - 9.1.1 ISO 規格(e.g. ISO 6848)
  - 9.1.2 AWS 標準 (AWS A5.12 など)
- 9.2 ジルコニウムタングステン電極の国内規格
  - 9.2.1 GB/T 標準
  - 9.2.2 業界標準と企業標準
- 9.3 ジルコニウムタングステン電極規格の内容と要件
  - 9.3.1 化学組成要件
  - 9.3.2 身体的パフォーマンス要件
  - 9.3.3 寸法と公差要件
- 9.4 ジルコニウムタングステン電極の国内外規格の比較と調整
- 9.5 ジルコニウムタングステン電極規格の更新と開発動向

### 第10章:ジルコニウムタングステン電極の検出方法

- 10.1 ジルコニウムタングステン電極の化学組成検出
  - 10.1.1 スペクトル分析
  - 10.1.2 化学滴定法
- 10.2 ジルコニウムタングステン電極の物性試験
  - 10.2.1 硬さ試験
  - 10.2.2 密度と気孔率の試験
- 10.3 ジルコニウムタングステン電極の微細構造解析
  - 10.3.1 走査型電子顕微鏡 (SEM)
  - 10.3.2 X線回折(XRD)
- 10.4 ジルコニウムタングステン電極の電極性能試験
  - 10.4.1 アーク安定性試験
  - 10.4.2 点火性能と寿命試験
- 10.5 ジルコニウムタングステン電極の環境適応性試験
- 10.6 ジルコニウムタングステン電極試験装置の校正と標準化
- 10.7 ジルコニウムタングステン電極検出における一般的な問題と解決策

### 第11章:ジルコニウムタングステン電極の将来の開発動向

- 11.1 新素材・新技術の開発
- 11.2 ジルコニウムタングステン電極の性能最適化の方向性
- 11.3 インテリジェントで自動化された生産の動向
- 11.4 グリーン製造と持続可能な開発
- 11.5 新興分野におけるジルコニウムタングステン電極の可能性

### 第12章:ジルコニウムタングステン電極のリサイクルと再利用

- 12.1 スクラップ電極のリサイクルプロセス

#### 著作権および法的責任に関する声明

- 12.2 ジルコニウムタングステン材料のリサイクルと経済的価値
- 12.3 リサイクルプロセスにおける汚染防止と環境保護の仕様
- 12.4 国内外のジルコニウムタングステンリサイクルの現状と発展動向

虫垂

- A. 用語集
- B. 参考文献

## 第1章はじめに

### 1.1 ジルコニウムタングステン電極の概要

ジルコニウムタングステン電極 は、タングステンマトリックスとして少量のジルコニア ( $ZrO_2$ ) をドーブしたタングステン電極の一種で、タングステン不活性ガスシールド溶接 (TIG 溶接)、プラズマ切断、プラズマ溶射、および高温および大電流のその他の産業シナリオで広く使用されています。ジルコニウムタングステン電極は、特に交流 (AC) 溶接において、アーク安定性、発火性能、耐燃焼性に優れているため、溶接や切断の分野で不可欠な材料となっており、アルミニウム、マグネシウム、およびその合金などの軽金属の加工に適しています。

ジルコニウムタングステン電極の化学組成は、主に高純度のタングステン (通常純度 99.5% 以上) と少量のジルコニア (通常 0.15%~0.8%) で構成されています。ジルコニアのドーピングによりタングステン電極の性能が大幅に向上し、高温アーク環境でも安定した電子放出容量と長寿命を維持できます。純粋なタングステン電極と比較して、ジルコニウムタングステン電極は電極の焼損率が低く、防汚能力が高いため、溶接品質が要求されるシナリオで大きな利点が得られます。トリウム-タングステン、セリウム-タングステン、ランタンタングステン電極などの他のドーブ電極と比較して、ジルコニウムタングステン電極はアーク濃度が高く、AC 溶接における電極先端の溶融リスクが低いため、アルミニウム合金などの電極特性に敏感な溶接材料に特に適しています。

ジルコニウムタングステン電極は通常、「WZ」で始まり、その後に WZ3 (ジルコニア 0.3% を含む) や WZ8 (ジルコニア 0.8% を含む) などのジルコニア含有量を示す数字が続きます。これらのグレード間の性能の違いは、溶接電流、材料の種類、およびプロセス要件に応じて、主にアーク安定性、点火性能、および耐用年数に反映されます。ジルコニウムタングステン電極の物理的特性には、高い融点 (約  $3422^{\circ}C$ 、純タングステンに近い)、優れた電気伝導性と熱伝導性、優れた耐酸化性と耐食性が含まれます。これらの機能により、極端な条件下でも一貫した性能を維持できるため、高精度の溶接や切断に最適です。

ジルコニウムタングステン電極の製造プロセスには、粉末冶金、ドーピング、焼結、絞り、表面処理などの複数のステップが含まれます。製造プロセスが複雑であるため、電極の化学組成の均一性と微細構造の安定性を確保するために、高精度の設備と厳格な品質管理が必要です。近年、グリーン製造とインテリジェント生産技術の発展により、ジルコニウムタングステン電極の製造プロセスは継続的に最適化され、製品の品質と一貫性が大幅に向上しました。

### 1.2 ジルコニウムタングステン電極の歴史と発展

ジルコニウムタングステン電極の開発と応用の歴史は、工業化の進展に伴い溶接技術が急速に発展した 20 世紀半ばにまでさかのぼることができます。タングステン不活性ガスシールド溶接 (TIG 溶接) は、20 世紀の 40 年代に徐々に成熟し、当初は主に純粋なタングステン電極を使用していました。しかし、純タングステン電極には、アークの不安定性、点火困難、AC 溶接における深刻な電極焼損などの問題があり、需要の高いシナリオでの応

#### 著作権および法的責任に関する声明

用が制限されている。これらの問題を解決するために、研究者はタングステン基板に酸化物をドーピングしてその特性を改善する研究を開始しました。

20 世紀の 50 年代に、ジルコニアは不純物材料としてタングステン電極の製造に導入されました。ジルコニアは、高融点、高温耐性、化学的安定性の特性を備えており、タングステン電極の電子放出能力と耐燃焼性を効果的に向上させることができます。初期のジルコニウムタングステン電極は主に実験用途に使用され、その製造プロセスは比較的粗く、ドーピングの均一性と電極品質の安定性は低かった。粉末冶金技術と高温焼結技術の進歩により、ジルコニウムタングステン電極の性能は 20 世紀の 60 年代に大幅に向上し、徐々に業界で受け入れられ、アルミニウム合金やマグネシウム合金の溶接に広く使用されています。

20 世紀の 70 年代に、国際標準化機構(ISO)と米国溶接協会(AWS)は、ジルコニウムタングステン電極の化学組成、性能要件、グレード分類など、タングステン電極の関連規格の策定を開始しました。これらの規格の導入により、ジルコニウム タングステン電極の標準化された生産と世界的な応用が促進されました。同じ時期に、ジルコニウムタングステン電極のグレードシステムは徐々に改善され、WZ3 や WZ8 などのグレードが主流となり、それらの性能の違いが体系的に研究され、さまざまな溶接シナリオに適用されました。

21 世紀には、航空宇宙、原子力産業、医療機器製造などのハイテク分野の急速な発展に伴い、ジルコニウムタングステン電極の応用範囲はさらに拡大しました。最新のジルコニウム タングステン電極の製造は高度に自動化されており、高度なドーピング技術と精密加工装置を使用して、高い電極の一貫性と信頼性を確保しています。同時に、グリーン製造コンセプトの導入により、廃棄物排出量の削減や原材料の利用率の向上など、生産プロセスにおける環境の最適化が促進されました。

近年、ジルコニウムタングステン電極の研究開発は、性能の最適化と多機能化に移行しています。たとえば、大電流 AC 溶接の需要に応じて、研究者らはアーク濃度と電極寿命をさらに向上させるために、新しいジルコニウム タングステン電極配合を開発しました。さらに、ジルコニウムタングステン電極の製造におけるナノテクノロジーの応用も研究のホットスポットとなっており、ナノスケールのジルコニア粒子のドーピングは電極の微細構造と性能を大幅に改善できます。

### 1.3 現代産業におけるジルコニウムタングステン電極の重要性

ジルコニウムタングステン電極は、現代産業、特に高精度の溶接と切断の分野で重要な役割を果たしています。その重要性は主に次の側面に反映されています。

まず、TIG 溶接にジルコニウム タングステン電極を適用すると、溶接の品質と効率が大幅に向上します。TIG 溶接は、その高精度、飛散がなく、幅広い適用性により、航空宇宙、自動車製造、造船業界で広く使用されています。ジルコニウムタングステン電極は、AC 溶接において優れたアーク安定性を示し、アークドリフトや溶接欠陥を効果的に低減し、アルミニウムやマグネシウムなどの軽金属とその合金の溶接に特に適しています。これらの材料は、航空宇宙分野(航空機の胴体、エンジン部品など)や自動車産業(アルミニウム合

#### 著作権および法的責任に関する声明

金ボディなど)で広く使用されており、ジルコニウムタングステン電極の安定した性能は、これらの産業に信頼できる保証を提供します。

第二に、ジルコニウムタングステン電極をプラズマ切断およびスプレーに適用することで、その産業価値がさらに拡大します。プラズマ切断では、電極が高温および大電流環境で安定している必要があり、ジルコニウム タングステン電極の耐焼損性と長寿命により、電極は理想的な選択肢となります。プラズマ溶射では、ジルコニウム タングステン電極は安定したプラズマ アークを提供し、コーティングの品質と均一性を確保し、これは航空エンジンのブレード コーティングや耐摩耗性材料の準備において特に重要です。

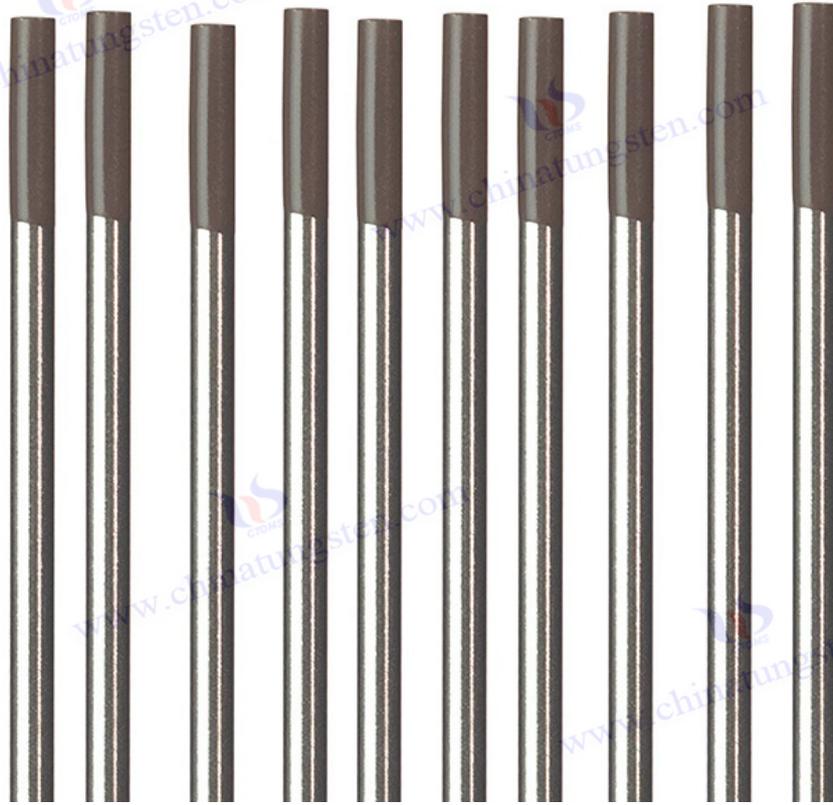
さらに、ジルコニウムタングステン電極は、原子力産業や医療機器製造などのハイテク分野でも重要な用途があります。原子力産業では、ジルコニウム タングステン電極は原子炉の主要コンポーネントの溶接に使用されており、その高い信頼性と耐食性により、極限環境の要件を満たすことができます。医療機器の製造において、ジルコニウムタングステン電極は X 線装置や手術器具などの高精度部品の製造に使用され、その優れた性能により機器の長期的な安定性と安全性が保証されます。

ジルコニウムタングステン電極の幅広い用途は、関連する産業チェーンの発展も促進しました。たとえば、ジルコニウムタングステン電極の製造は、タングステン鉱石の採掘、粉末冶金装置の製造、品質検査技術の開発を促進しました。同時に、その標準化された生産と国際貿易により、世界の溶接業界における協力と技術交流が促進されます。

将来的には、インテリジェント製造とグリーン生産技術のさらなる発展に伴い、ジルコニウムタングステン電極の性能と応用分野は拡大し続けると予想されます。たとえば、新エネルギー（風力や太陽光発電機器の製造など）や 3D プリンティング技術の分野では、ジルコニウム タングステン電極の潜在的な用途が検討されています。これらの新興分野における材料特性とプロセス精度の要件は、ジルコニウム タングステン電極の重要性をさらに強調するでしょう。

要約すると、ジルコニウム タングステン電極は、高性能の溶接および切断材料として、優れたアーク安定性、耐燃焼性、幅広い適用性により、現代産業において重要な位置を占めています。その継続的な技術進歩とアプリケーションの拡大は、工業生産における革新と発展を推進し続けるでしょう。

#### 著作権および法的責任に関する声明



## 第 2 章ジルコニウムタングステン電極の基本概念

### 2.1 ジルコニウムタングステン電極の定義

ジルコニウムタングステン電極は、高純度タングステンをベースに少量のジルコニア ( $ZrO_2$ ) をドーブした非消耗性電極材料で、主にタングステン不活性ガスシールド溶接(TIG 溶接)、プラズマ切断、プラズマ溶射などの高温・大電流の産業用途に使用されます。ジルコニウム タングステン電極は、タングステン マトリックスにジルコニアを添加することにより、電極のアーク安定性、発火性能、耐燃焼性を大幅に向上させ、特にアルミニウム、マグネシウム、およびその合金などの軽金属の溶接において、交流 (AC) 溶接に優れています。

ISO 6848 や AWS A5.12 などの国際規格によると、ジルコニウム タングステン電極は、特定の割合のジルコニア (通常は 0.15% から 0.8%) を含むタングステン合金電極として定義され、グレードは WZ3 (0.3% ジルコニア) や WZ8 (0.8% ジルコニア) など「WZ」で始まります。これらの電極は粉末冶金技術を使用して製造され、ジルコニアをタングステンマトリックスに均一にドーブし、高温性能と電気特性を最適化します。ジルコニウムタングステン電極の主な機能は、アーク溶接または切断において非消耗電極として機能し、溶接部の汚染を回避しながら安定したアークを提供し、長寿命を維持することです。

#### 著作権および法的責任に関する声明

ジルコニウム タングステン電極は、アークの不安定性や電極先端の早期焼損など、AC 溶接における純タングステン電極の欠点を補うように設計されています。トリウム タングステンやセリウム タングステン電極などの他のドーブ電極と比較して、ジルコニウム タングステン電極はアーク濃度が強いこと、AC 溶接において独自の利点があり、高精度の溶接プロセスに適しています。さらに、ジルコニウムタングステン電極には放射性元素が含まれていないため、トリウムタングステン電極よりも環境に優しく、現代産業の安全性と持続可能性の要件を満たしています。

## 2.2 ジルコニウムタングステン電極の化学組成

ジルコニウムタングステン電極の化学組成は、主に高純度タングステン(W)で構成され、性能向上剤として少量のジルコニア( $ZrO_2$ )がドーピングされています。高温および大電流環境での電極の安定性を確保するために、タングステンの純度は通常 99.5% 以上である必要があります。ジルコニアのドーピング率は電極グレードによって異なり、WZ3 (0.3%  $ZrO_2$ ) や WZ8 (0.8%  $ZrO_2$ ) など、通常は 0.15% から 0.8% の範囲です。タングステンやジルコニアに加えて、ジルコニウムタングステン電極には微量の不純物(鉄、シリコン、炭素など)が含まれている場合がありますが、これらの不純物の含有量は、電極の性能に影響を与えないように、国際規格で指定された範囲(通常は 0.05%未満)内で厳密に管理する必要があります。

ジルコニアの添加は、ジルコニウムタングステン電極の性能を向上させる鍵です。ジルコニアは、融点が高く(約 2715°C)、化学的安定性が高い酸化物で、タングステンマトリックス中に均一に分布した小さな粒子を形成することができます。これらの粒子は、タングステンの結晶構造と電子放出特性を変化させることにより、電極のアーク安定性と耐燃焼損性を大幅に向上させます。ジルコニアのドーピング率は電極の性能に直接影響します:ドーピングレベルが低い(WZ3 など)は中電流の AC 溶接に適しており、ドーピングレベルが高い(WZ8 など)は大電流やアーク濃度が高いシナリオに適しています。

ジルコニウムタングステン電極の化学組成は、正確な原料比率とドーピングプロセスを通じて製造中に制御されます。製造で一般的に使用されるタングステン原料は高純度タングステン粉末であり、ジルコニアは通常、高純度粉末または溶液の形で添加されます。ドーピングプロセスでは、電極性能の一貫性を確保するために、タングステンマトリックス中のジルコニア粒子の均一な分布を確保し、局所的な凝集や偏析を避ける必要があります。最新の製造技術では、性能をさらに最適化するために、希土類酸化物などの他の添加剤を微量に導入する場合がありますが、これらの添加剤の使用は関連する規格および業界要件に準拠する必要があります。

## 2.3 ジルコニウムタングステン電極と他のタングステン電極の比較

タングステン電極ファミリーのメンバーとして、ジルコニウム タングステン電極は、性能、用途、および適用可能なシナリオの点で、純タングステン電極、トリウム化タングステン電極、セリウム タングステン電極、ランタン化タングステン電極などの他のタイプのタングステン電極とは大きく異なります。

以下は、ジルコニウムタングステン電極と他のタングステン電極の特性を多次元から比較

### 著作権および法的責任に関する声明

したものです。

#### 純タングステン電極(WP)

純粋なタングステン電極は、酸化物ドーピングなしで 99.95%以上の高純度タングステンできています。その利点は、化学的安定性が高く、放射能がなく、低電流直流 (DC) 溶接に適していることです。しかし、純粋なタングステン電極はアーク安定性が低く、AC 溶接での着火性能が弱く、電極先端が過熱や焼損を起こしやすく、耐用年数が短くなります。対照的に、ジルコニウム タングステン電極は、ジルコニア ドーピングによる AC 溶接におけるアーク安定性と点火性能を大幅に向上させるため、アルミニウムおよびマグネシウム合金の溶接に特に適しています。

#### トリウムタングステン電極(WT20)

トリウムタングステン電極には、1.5%から 2.0%の酸化トリウム( $\text{ThO}_2$ )がドーピングされており、発火性能とアーク安定性に優れており、DC 溶接に広く使用されています。ただし、酸化トリウムはわずかに放射性があり、潜在的な健康および環境リスクをもたらすため、AC 溶接ではジルコニウム タングステン電極よりもアーク濃度が低くなります。ジルコニウムタングステン電極は非放射性で環境に優しく、AC 溶接におけるアーク制御が優れているため、高精度溶接に適しています。

#### セリウムタングステン電極(WC20)

セリウムタングステン電極には約 2.0%の酸化セリウム( $\text{CeO}_2$ )がドーピングされており、点火性能に優れ、低電流の DC および AC 溶接に適しています。ジルコニウムタングステン電極と比較して、セリウムタングステン電極は大電流 AC 溶接でのアーク安定性がわずかに低く、電極寿命がわずかに短くなります。ジルコニウム タングステン電極は、AC 溶接における耐燃焼性とアーク濃度が強いいため、需要の高いシナリオに適しています。

#### ランタンタングステン電極(WL15、WL20)

ランタンタングステン電極には、1.0%から 2.0%の酸化ランタン( $\text{La}_2\text{O}_3$ )がドーピングされており、発火性能が高く、耐用年数が長く、DC および AC 溶接に適しています。ジルコニウムタングステン電極と比較して、ランタンタングステン電極は DC 溶接で優れた性能を発揮しますが、アーク濃度は AC 溶接におけるジルコニウムタングステン電極よりもわずかに劣り、特にアルミニウム合金を溶接する場合、ジルコニウムタングステン電極のアーク制御能力はより強力です。

要約すると、ジルコニウム タングステン電極は、AC 溶接、特にアルミニウムやマグネシウムなどの軽金属を溶接する場合に独自の利点を持っています。その非放射性で環境に優しい特性により、現代の産業ではトリウムタングステン電極に徐々に取って代わり、高精度溶接に適した電極となっています。ただし、DC 溶接または低電流のシナリオでは、セリウム タングステンまたはランタン タングステン電極の方が有利な場合があります。電極の選択は、特定のプロセス、電流の種類、および材料要件に基づいて総合的に検討する必要があります。

#### 著作権および法的責任に関する声明

CTIA GROUP LTD

Zirconium Tungsten Electrode Introduction

1. Overview of Zirconium Tungsten Electrode

Zirconium tungsten electrode is a non-radioactive welding electrode made by doping a small amount of zirconium oxide (ZrO<sub>2</sub>) into a high-purity tungsten base. It is specifically optimized for AC TIG (Tungsten Inert Gas) welding. Its excellent arc stability and outstanding resistance to contamination make it the preferred choice for welding aluminum, magnesium, and their alloys.

2. Types of Zirconium Tungsten Electrode

Grade	Tip Color	ZrO <sub>2</sub> Content (wt.%)	Characteristics & Applications
WZ3	Brown	0.2-0.4	Ideal for low to medium intensity AC welding; cost-effective
WZ38	White	0.7-0.9	Industry-standard grade with excellent overall performance

3. Standard Sizes & Packaging of Zirconium Tungsten Electrode

Diameter (mm)	Length (mm)	Regular Coloring	Packing:
1.0	150 / 175	Black / Gold / Blue	10 pcs/box
1.6	150 / 175	Black / Gold / Blue	10pcs/box
2.0	150 / 175	Black / Gold / Blue	10pcs/box
2.4	150 / 175	Black / Gold / Blue	10pcs/box
3.2	150 / 175	Black / Gold / Blue	10pcs/box
4.0	150 / 175	Black / Gold / Blue	10pcs/box
Remark	The sizes can be customized		

4. Applications of Zirconium Tungsten Electrode

- Welding of aluminum and aluminum alloys: such as doors, windows, frames, and automotive body structures
- Welding of magnesium and magnesium alloys: widely used in aerospace lightweight components
- AC welding of stainless steel (under specific low-current conditions)
- Precision welding in aerospace, rail transit, pressure vessels, etc.
- Used in automated welding systems and robotic torch assemblies

5. Procurement Information

Email: sales@chinatungsten.com  
Phone: +86 592 5129595; 592 5129696  
Website: www.tungsten.com.cn

著作権および法的責任に関する声明

## 2.4 ジルコニウムタングステン電極の物理的および化学的性質

ジルコニウム タングステン電極の物理的および化学的性質は、高温および大電流環境における優れた性能の基礎です。以下は、融点と熱安定性、電気伝導率と熱伝導率、耐酸化性と耐食性、機械的性質の4つの側面から詳細な分析です。

### 2.4.1 融点と熱安定性

ジルコニウムタングステン電極はタングステンの高融点特性を継承しており、融点は約3422°C(純タングステンの融点)で、既知の金属材料の中で最も高いものの1つです。ジルコニア(融点約2715°C)のドーピングはタングステンマトリックスの理論的融点をわずかに低下させますが、ジルコニウムタングステン電極は、実際の用途では最大6000°Cのアーカ環境でも構造安定性を維持できます。ジルコニア粒子はタングステンマトリックス中に安定した分散相を形成し、結晶粒の成長と高温変形を効果的に抑制し、それによって電極の熱安定性を向上させます。

TIG溶接またはプラズマ切断では、ジルコニウムタングステン電極はアーカによって発生する高温(約6000°C~7000°C)にさらされます。優れた熱安定性により、長時間の大電流動作でもチップ形状を維持し、焼損や溶融を軽減します。純粋なタングステン電極と比較して、ジルコニウムタングステン電極は、AC溶接、特に高周波スイッチ ACアーカでの熱安定性が優れており、安定した電子放出を維持できます。

### 2.4.2 電気伝導率と熱伝導率

ジルコニウムタングステン電極は、タングステンマトリックスの特性と密接に関連する良好な電気伝導性と熱伝導性を備えています。タングステンの導電率は $1.82 \times 10^7$  S/mで、熱伝導率は約173 W/(m·K)(室温時)です。ジルコニアのドーピングは電気伝導率と熱伝導率にほとんど影響を与えませんが、大電流 AC溶接では、ジルコニウム タングステン電極の導電率により、安定したアーカ形成とエネルギー伝達が保証されます。

熱伝導率は電極の性能にとって重要です。溶接プロセス中、電極先端は高温にさらされ、熱伝導率が良好であるため、先端から電極の他の部分に熱が素早く伝導され、局所的な過熱や焼損が防止されます。ジルコニウム タングステン電極の熱伝導率により、大電流 AC溶接中に低いチップ温度を維持し、耐用年数を延ばすことができます。

### 2.4.3 耐酸化性と耐食性

高温環境におけるジルコニウムタングステン電極の耐酸化性と耐食性は重要な利点です。タングステン自体は、高温で酸素と反応して揮発性酸化物( $WO_3$ など)を形成する傾向があり、その結果、電極が焼損します。ジルコニアのドーピングは、安定した酸化層を形成することにより、電極の耐酸化性を大幅に向上させます。ジルコニア粒子は電極の表面に保護層を形成し、タングステンと酸素の間の反応速度を遅くするため、ジルコニウムタングステン電極は酸化性雰囲気中でも長い耐用年数を維持できます。

耐食性の点では、ジルコニウム タングステン電極は、不活性ガス、金属蒸気など、一般

#### 著作権および法的責任に関する声明

的な溶接環境に存在する化学物質に対して優れた安定性を示します。特にアルミニウム合金溶接において、ジルコニウムタングステン電極は酸化アルミニウムやその他の汚染物質の影響に抵抗し、電極先端の汚染と性能低下を軽減します。

#### 2.4.4 機械的特性(硬度、延性など)

ジルコニウム タングステン電極の機械的特性には、高硬度、適度な延性、および優れた耐破損性が含まれます。タングステンの硬度(ピッカース硬度約 350~400HV)により、ジルコニウムタングステン電極に優れた耐摩耗性と耐変形性が与えられ、高周波振動や機械的ストレス下でも構造的完全性を維持できます。ジルコニアのドーピングは、脆性破壊に対する耐性を向上させながら、電極の硬度をわずかに増加させます。

製造工程では、ジルコニウムタングステン電極を延伸して熱処理し、適度な延性を実現し、直径(1.0mm から 6.4mm など)と長さの異なる電極棒に加工することができます。延性の最適化により、加工中や使用中に電極に亀裂や破損が発生しにくくなります。さらに、ジルコニウム タングステン電極の耐疲労性により、高周波 AC アークでの繰り返しの熱的および機械的応力に耐えることができ、耐用年数が延びます。



#### 著作権および法的責任に関する声明

## 第3章 ジルコニウムタングステン電極のグレード

### 3.1 ジルコニウムタングステン電極グレードの分類

ジルコニウム タングステン電極のグレード分類は、ジルコニア (ZrO<sub>2</sub>) 含有量と性能特性に基づいており、さまざまな溶接および切断プロセスに標準化された電極選択を提供することを目的としています。グレード分類は、生産およびアプリケーションにおける識別を容易にするだけでなく、ユーザーに明確なパフォーマンスガイダンスを提供します。国際市場と国内市場の両方で、世界中のジルコニウム タングステン電極の互換性と一貫性を確保するために、標準化された命名規則が採用されています。

#### 3.1.1 国際的に使用されるグレード (WZ3、WZ8 など)

国際的には、ジルコニウム タングステン電極は通常、国際標準化機構 (ISO 6848) および米国溶接協会 (AWS A5.12) の規格に従っており、「WZ」で始まり、その後ジルコニアのおおよその重量パーセンテージを示す数字 (0.1%) が続きます。最も一般的な国際グレードには WZ3 と WZ8 が含まれ、ジルコニア含有量がそれぞれ 0.3% と 0.8% であることを示します。これらのグレードは、世界の溶接業界、特にヨーロッパとアメリカの市場で広く使用されています。

**WZ3 (0.15%–0.4% ZrO<sub>2</sub>):** WZ3 は、ジルコニウム タングステン電極中のジルコニア含有量が低いグレードであり、中電流での交流 (AC) 溶接に一般的に使用されます。アーク安定性に優れ、点火性能に優れているのが特徴で、アルミニウム、マグネシウム、その合金などの軽金属の溶接に適しています。WZ3 電極は焼損に対する耐性が中程度であるため、小規模な溶接作業や低周波 AC 溶接など、電極の寿命がそれほど長くないシナリオに適しています。

**WZ8 (0.7%–0.9% ZrO<sub>2</sub>):** WZ8 にはジルコニアの割合が高く、大電流 AC 溶接用に設計されています。アーク濃度が強く、燃焼しに対する耐性が WZ3 よりも優れているため、航空宇宙部品や原子力産業機器の製造など、高精度で高品質の溶接が必要なシナリオに適しています。WZ8 電極は高周波 AC アーク放電に優れ、安定したアーク形状と長寿命を維持します。

WZ3 および WZ8 に加えて、特定のニーズに応じて一部の国や地域では他の非標準グレードが開発される場合がありますが、これらのグレードの使用範囲は狭く、通常は特定の業界またはカスタマイズされた用途に限定されます。国際規格ではジルコニウムタングステン電極の色識別も指定されており、WZ3 および WZ8 は通常、現場で簡単に識別できるように茶色と白(先端または電極全体コーティング)でマークされています。

#### 3.1.2 国内ブランドの命名規則

中国では、ジルコニウムタングステン電極のグレード命名は、主に GB/T 4187-2017「タングステン電極」などの国家規格(GB/T 規格)に従っています。国内グレードの命名は国際規格と似ており、通常は「WZ」で始まり、その後ジルコニア含有量を示す数字が続きますが、ビジネスや業界のニーズに応じて拡張される場合もあります。一般的な国内グレードには、国際規格に準拠した WZ3 や WZ8 などがありますが、企業によっては、国

#### 著作権および法的責任に関する声明

際グレードと同じ意味を持つ「WZr-3」や「WZr-8」などのカスタム名が使用されている場合があります。

国内グレードの命名規則は、電極の目的や性能と組み合わせて補完することもできます。たとえば、WZ8 電極の高精度加工用の「WZ8-H」など、電極の特定の加工プロセスや用途シナリオを示すために、グレードの後に文字や数字を追加する企業もあります。国内規格では、ジルコニウムタングステン電極の化学組成、寸法公差、性能要件が明確に規定されており、国際規格に準拠していることが保証されています。

国際市場と比較して、国内ブランドの命名は、特に中小規模の溶接企業や非標準機器製造では、ローカライズされたアプリケーションに重点が置かれており、標準化されていない命名方法が存在する場合があります。これらの命名方法は通常、顧客のニーズに応じてメーカーによってカスタマイズされますが、製品の品質と一貫性を確保するために、全体的な参照は依然として GB/T 標準です。

### 3.2 各グレードのジルコニウム含有量と性能の違い

ジルコニウムタングステン電極の性能の違いは、主にジルコニア含有量の違いによるものです。ドーパントとして、ジルコニアはタングステンマトリックスの微細構造と電子放出特性を変化させることにより、電極のアーク安定性、発火性能、耐燃焼性、および耐用年数に大きな影響を与えます。以下は、WZ3 グレードと WZ8 グレードのジルコニウム含有量と性能の違いの詳細な分析です。

**WZ3 (0.15%–0.4% ZrO<sub>2</sub>)** WZ3 電極はジルコニア含有量が少なく、中電流 (50–150 A) での AC 溶接に適しています。その主な性能特性は次のとおりです。

**アーク安定性:** WZ3 は、アークドリフトが少なく AC 溶接で安定したアークを提供するため、アルミニウムまたはマグネシウム合金の薄板の溶接に適しています。

**点火性能:** ジルコニアの含有量が低いため、WZ3 は点火時の電子脱出仕事量が少なく、アークを開始しやすくなります。

**耐燃焼性:** 純粋なタングステン電極と比較して、WZ3 は耐燃焼性が向上していますが、大電流や長時間の溶接中に電極先端でわずかな焼損が発生する場合があります。

**寿命:** WZ3 は中程度の寿命を備えているため、中小規模の溶接作業に適していますが、大電流または高周波溶接では WZ8 よりも寿命がわずかに短くなります。

**微細構造:** WZ3 はジルコニア粒子の分布がまばらで粒径が大きいいため、中強度の溶接環境に適しています。

**WZ8 (0.7%–0.9% ZrO<sub>2</sub>)** WZ8 電極はジルコニア含有量が高く、大電流 (150–400 A) AC 溶接用に設計されており、次のような性能特性を備えています。

**アーク安定性:** WZ8 のアーク濃度は非常に強く、アーク形状が安定しているため、航空宇宙部品の TIG 溶接などの高精度溶接に適しています。

**点火性能:** ジルコニア含有量が高いため、電子の脱出仕事量がさらに減少し、WZ8 は高周波 AC アークで優れた点火性能を発揮します。

#### 著作権および法的責任に関する声明

耐燃焼性: WZ8 の耐燃焼性は WZ3 よりも大幅に優れており、高電流および高温環境でも先端形状を維持し、溶融や亀裂を軽減します。

寿命: WZ8 は寿命が長いため、長期にわたる高強度の溶接作業に適しています。

微細構造: WZ8 は、ジルコニア粒子が密度が高く、粒径が小さく、微細構造がより均一であるため、電極の高温耐性が向上します。

その他のグレード一部の特殊な用途では、0.5% または 1.0% のジルコニアを含むジルコニウム タングステン電極など、非標準グレードが利用できる場合があります。これらのグレードは通常、WZ3 から WZ8 の間の性能を持つカスタマイズされた製品であり、高精度プラズマ切断や特殊合金溶接などの特定の業界のニーズに適しています。

ジルコニア含有量を増やすと、通常、電極のアーク安定性と耐焼損性が向上しますが、ドーピングが高すぎると、電極の脆性が増したり、加工の難易度が高まったりする可能性があります。したがって、WZ3 と WZ8 のジルコニア含有量は、性能とコストの最適なバランスであり、ほとんどの産業ニーズを満たすと考えられています。

### 3.3 ジルコニウムタングステン電極グレードの選択と応用シナリオ

ジルコニウムタングステン電極のグレードの選択は、溶接の品質、効率、コストに直接影響します。以下では、アプリケーション シナリオ、溶接プロセス、材料の種類の観点から WZ3 および WZ8 の適用性を分析します。

#### WZ3 のアプリケーションシナリオ

溶接材料: WZ3 は、アルミニウム、マグネシウム、およびそれらの合金、特に薄板溶接 (厚さ 3 mm 未満のアルミニウム合金板など) の溶接に適しています。アーク安定性により溶接欠陥が軽減され、表面品質が要求されるシナリオに適しています。

電流範囲: 50~150A の AC 溶接に適しており、手動 TIG 溶接機などの中小規模の溶接装置に適しています。

代表的な用途: 家電製品製造、自転車アルミニウム合金フレーム溶接、船舶アルミニウム構造溶接。

利点: 低コストで点火が容易で、小規模から中規模の生産や低周波の溶接作業に適しています。

制限事項: 大電流や長時間の溶接では、WZ3 の焼損に対する耐性と寿命が不十分な場合があります。

#### WZ8 のアプリケーションシナリオ

溶接材料: WZ8 は、需要の高いアルミニウム合金、マグネシウム合金、ステンレス鋼の溶接、特に厚板溶接 (厚さ 5mm を超えるなど) や高精度溶接に適しています。

電流範囲: 150~400A の大電流 AC 溶接に適しており、自動溶接装置や高周波 AC アーク放電に適しています。

代表的な用途: 航空宇宙(航空機の胴体、エンジン部品など)、原子力産業(原子炉部品など)、医療機器製造(X線装置の筐体など)。

#### 著作権および法的責任に関する声明

利点:アーク濃度が高く、耐燃焼性が高く、寿命が長く、高強度で長期間の溶接作業に適しています。

制限事項: コストが高く、処理が若干難しいため、低電流または低精度のシナリオには適さない場合があります。

選択原則 ジルコニウム タングステン電極グレードの選択では、次の要素を総合的に考慮する必要があります。

溶接電流:WZ3 は低電流、WZ8 は大電流。

材料の種類: アルミニウムとマグネシウムの合金はジルコニウム タングステン電極を好み、WZ8 は高精度の要件により適しています。

溶接環境:WZ8 は高周波 AC または高熱入力シナリオに適しており、通常の AC 溶接には WZ3 を選択できます。

手頃な価格:WZ3 は低コストで、中小企業に適しています。WZ8 は優れたパフォーマンスを提供し、ハイエンド アプリケーションに適しています。

機器の互換性: 電極の直径と長さが溶接装置と一致していることを確認してください (一般的な直径は 1.6mm、2.4mm、3.2mm など)。

### 3.4 ジルコニウムタングステン電極グレードの標準化と国際比較

ジルコニウム タングステン電極のグレード標準化は、世界中でジルコニウム タングステン電極の一貫性と互換性を確保するための鍵となります。国際規格と国内規格は、ジルコニウムタングステン電極のグレード、化学組成、性能要件に関する統一された仕様を提供し、溶接業界の世界的な発展を促進しています。

#### 国際規格

ISO 6848:2015:この規格は、ジルコニウムタングステン電極を「WZ」シリーズとして分類し、化学組成、色指定(茶色または白)および WZ3(0.15%–0.4%ZrO<sub>2</sub>)および WZ8(0.7%–0.9%ZrO<sub>2</sub>)の化学組成、色指定(茶色または白)および性能要件を指定します。ISO 規格では、電極の寸法公差、表面品質、検査方法も指定されています。

AWS A5.12/A5.12M:2009: 米国溶接協会規格は ISO 規格と非常に一致しており、ジルコニウム タングステン電極のグレード、化学組成、および応用シナリオを詳細に定義しています。AWS 規格では、WZ3 と WZ8 の色識別はそれぞれ茶色と白であり、これは国際的な慣行に沿っています。

その他の国際規格: ヨーロッパ (EN 規格) と日本 (JIS 規格) も ISO および AWS 規格を参照しており、ジルコニウム タングステン電極のグローバルな互換性が保証されています。

#### 国内規格

GB/T 4187-2017:中国の国家規格「タングステン電極」は、ジルコニウムタングステン電極のグレード、化学組成、性能、および試験方法を詳細に指定しています。国内の WZ3 および WZ8 は国際規格と一致していますが、「WZr-3」や「WZr-8」などの企業規格では拡張された命名があります。

業界標準: 中国溶接協会と非鉄金属工業協会は、特定の産業 (航空宇宙、原子力産業など)

#### 著作権および法的責任に関する声明

におけるジルコニウム タングステン電極の追加要件を設定する補足規格を開発しました。

国際比較国際グレードと国内グレードの比較関係は比較的単純で、WZ3 と WZ8 は ISO、AWS、GB/T 規格で一貫して定義されています。色の識別(茶色または白)は世界中で統一されているため、現場で簡単に識別できます。一部の国では、規格の電極の不純物含有量、表面処理、またはパッケージング要件に若干の違いがある場合がありますが、コア性能指標は一貫しています。

標準化の傾向溶接技術の進歩に伴い、ジルコニウムタングステン電極の標準化も常に更新されています。将来のトレンドは次のとおりです。

性能の最適化: 大電流、高周波、または特殊材料の溶接ニーズに合わせて新しいグレードを開発します。

環境保護要件:電極中の不純物含有量をさらに減らし、グリーン製造を促進します。

国際調整: ISO、AWS、GB/T 規格の調整を強化して、世界的な貿易と応用を促進します。

インテリジェントテスト: 自動テスト技術を導入して、グレード認証の精度と効率を向上させます。



著作権および法的責任に関する声明

CTIA GROUP LTD

Zirconium Tungsten Electrode Introduction

1. Overview of Zirconium Tungsten Electrode

Zirconium tungsten electrode is a non-radioactive welding electrode made by doping a small amount of zirconium oxide (ZrO<sub>2</sub>) into a high-purity tungsten base. It is specifically optimized for AC TIG (Tungsten Inert Gas) welding. Its excellent arc stability and outstanding resistance to contamination make it the preferred choice for welding aluminum, magnesium, and their alloys.

2. Types of Zirconium Tungsten Electrode

Grade	Tip Color	ZrO <sub>2</sub> Content (wt.%)	Characteristics & Applications
WZ3	Brown	0.2-0.4	Ideal for low to medium intensity AC welding; cost-effective
WZ38	White	0.7-0.9	Industry-standard grade with excellent overall performance

3. Standard Sizes & Packaging of Zirconium Tungsten Electrode

Diameter (mm)	Length (mm)	Regular Coloring	Packing:
1.0	150 / 175	Black / Gold / Blue	10 pcs/box
1.6	150 / 175	Black / Gold / Blue	10pcs/box
2.0	150 / 175	Black / Gold / Blue	10pcs/box
2.4	150 / 175	Black / Gold / Blue	10pcs/box
3.2	150 / 175	Black / Gold / Blue	10pcs/box
4.0	150 / 175	Black / Gold / Blue	10pcs/box
Remark	The sizes can be customized		

4. Applications of Zirconium Tungsten Electrode

- Welding of aluminum and aluminum alloys: such as doors, windows, frames, and automotive body structures
- Welding of magnesium and magnesium alloys: widely used in aerospace lightweight components
- AC welding of stainless steel (under specific low-current conditions)
- Precision welding in aerospace, rail transit, pressure vessels, etc.
- Used in automated welding systems and robotic torch assemblies

5. Procurement Information

Email: sales@chinatungsten.com  
Phone: +86 592 5129595; 592 5129696  
Website: www.tungsten.com.cn

著作権および法的責任に関する声明

## 第4章 ジルコニウムタングステン電極の特性

### 4.1 ジルコニウムタングステン電極のアーカ安定性

アーカ安定性は、タングステン不活性ガスシールド溶接(TIG 溶接)およびプラズマ切断におけるジルコニウムタングステン電極の中核特性の1つであり、大電流、高温のアーカ環境で安定したアーカ形状を維持し、アーカドリフトを回避する電極の能力を指します。ジルコニウム タングステン電極は、ジルコニア ( $ZrO_2$ ) のドーピングにより、特に交流 (AC) 溶接においてアーカ安定性に優れています。

ジルコニアのドーピングは、タングステンマトリックスの電子逃避仕事関数を低下させ、電極表面から電子が放出されやすくなり、安定したアーカが得られます。純粋なタングステン電極と比較して、ジルコニウムタングステン電極のアーカはより集中しており、アーカドリフト現象は大幅に減少します。アルミニウムやマグネシウムなどの軽金属は、AC 溶接におけるアーカ不安定性による気孔や非融着などの溶接欠陥が発生しやすいため、この特性は溶接する場合に特に重要です。ジルコニウム タングステン電極のアーカ安定性は、主にタングステン マトリックス中のジルコニア粒子の均一な分布によるもので、結晶構造と表面電子放出特性を最適化することにより、アーカの耐久性と制御性が向上します。

実際の用途では、ジルコニウムタングステン電極のアーカ安定性はジルコニア含有量と密接に関係しています。たとえば、WZ8 (0.7%–0.9%  $ZrO_2$ ) は WZ3 (0.15%–0.4%  $ZrO_2$ ) と比較してアーカ濃度が高く、大電流 (150–400 A) AC 溶接に適しており、高周波アーカでも安定したアーカ形状を維持できます。WZ3 は中電流 (50–150 A) のシナリオに適しており、そのアーカ安定性は薄板溶接または低周波 AC 溶接のニーズを満たすのに十分です。アーカ安定性の優れた性能により、ジルコニウムタングステン電極は、溶接品質が非常に高い航空宇宙、自動車製造、造船産業で広く使用されています。

さらに、ジルコニウムタングステン電極のアーカ安定性は、電極先端の形状にも影響されます。チップをテーパ形状 (通常は  $30^\circ$ – $60^\circ$ ) に研削すると、アーカ濃度がさらに高まり、アーカの広がりを減らすことができます。最新の溶接装置は、方形波 AC などの電流波形を正確に制御することでジルコニウム タングステン電極のアーカ安定性をさらに最適化し、複雑な溶接環境でもより高い信頼性を発揮できるようにします。

### 4.2 ジルコニウムタングステン電極の着火性能と電極寿命

着火性能とは、電極がアーカを開始する容易さを指し、通常は点火電圧と点火成功率によって評価されます。ジルコニウムタングステン電極は、ジルコニアのドーピングにより電子逃げ仕事量(純タングステンの  $4.5\text{eV}$  から約  $2.7\sim 3.0\text{eV}$ )を大幅に低減し、特に高周波 AC 溶接においてアーカの開始を容易にします。この優れた着火性能により、ジルコニウムタングステン電極はアルミニウムおよびマグネシウム合金の溶接に最適な材料になります。

WZ8 電極の着火性能は、ジルコニア含有量が高いため、WZ3 よりも優れています。高周

#### 著作権および法的責任に関する声明

波 AC 溶接では、WZ8 は低い点火電圧で迅速にアークを形成できるため、点火不良やアーク中断のリスクが軽減されます。WZ3 の点火性能は WZ8 よりもわずかに劣りますが、それでも中電流範囲で信頼性の高い点火結果が得られるため、中小規模の溶接作業に適しています。点火性能の向上により、溶接効率が向上するだけでなく、点火困難による機器の損失や無駄な動作時間も削減されます。

電極寿命はジルコニウム タングステン電極のもう 1 つの重要な特性であり、電極が通常の使用条件下でその性能を維持できる時間を指します。ジルコニウム タングステン電極の寿命は、主に燃え尽きや汚染に耐える能力によって制限されます。ジルコニアのドーピングは、安定した酸化層を形成することにより、高温アークにおける電極の焼損率を大幅に低下させます。WZ8 電極は、特に大電流の長期溶接において、ジルコニア含有量が高いため、通常、WZ3 よりも寿命が 30%~50%長くなります。たとえば、航空宇宙部品の

TIG 溶接では、WZ8 電極は頻繁に交換することなく、連続的な高電流(200~300 A)で何時間も動作できます。

電極の寿命は、溶接環境や使用条件にも影響されます。たとえば、アルゴンやヘリウムなどの適切な不活性ガス保護により、電極表面の酸化を軽減し、寿命を延ばすことができます。チップの研削角度と電流波形の最適化により、電極の寿命も効果的に伸びます。純粋なタングステン電極と比較して、ジルコニウムタングステン電極の寿命は通常、AC 溶接で 2~3 倍延長されるため、工業生産においてより経済的になります。

#### 4.3 ジルコニウムタングステン電極の耐燃焼性と耐汚染能力

バーンオフ抵抗は、ジルコニウムタングステン電極が高温アーク放電環境でチップの溶融または損失に耐える能力です。ジルコニウムタングステン電極は、ジルコニアをドーピングすることにより、耐バーンアウト性を大幅に向上させます。ジルコニア粒子はタングステンマトリックス中に安定した分散相を形成し、高温でのタングステンの揮発および酸化反応を効果的に抑制します(WO<sub>3</sub>などの揮発性酸化物を形成)。この保護機構により、ジルコニウム タングステン電極は 6000°C を超えるアーク放電環境でも先端形状を維持し、焼損と溶融を軽減できます。

WZ8 電極は、ジルコニア含有量が高いほど高密度の保護層を形成するため、WZ3 よりも焼損しにくいです。大電流 AC 溶接では、WZ8 電極の先端焼損率を純タングステン電極の 1/3 に低減することができ、電極の寿命を大幅に延ばすことができます。WZ3 電極は、中程度の電流で優れた耐焼損性も備えていますが、長時間の大電流動作により、チップにわずかな摩耗が生じる可能性があります。

耐汚染性とは、溶接プロセス中に金属蒸気、酸化物、またはその他の汚染物質の付着に抵抗する電極の能力を指します。アルミニウム合金溶接では、酸化アルミニウム (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) やその他の不純物が電極先端に付着する傾向があり、アークの不安定性や点火困難につながります。ジルコニウムタングステン電極の防汚能力はジルコニアの化学的安定性によるも

#### 著作権および法的責任に関する声明

ので、その表面は酸化アルミニウムやその他の汚染物質と化学反応を起こしにくいです。さらに、ジルコニウム タングステン電極は表面仕上げが高く、多くの場合、精密研磨によって達成され、汚染物質の付着の可能性がさらに低くなります。

実際の用途では、ジルコニウム タングステン電極の耐汚染性により、複雑な溶接環境でも優れた性能を発揮します。たとえば、高湿度または酸素を含んだ環境では、ジルコニウム タングステン電極は安定したアーク性能を維持し、汚染によって引き起こされる溶接欠陥を軽減できます。トリウムタングステン電極と比較して、ジルコニウムタングステン電極は非放射性で環境に優しく、AC 溶接ではセリウムタングステンおよびランタンタングステン電極よりも汚染防止能力が優れています。

#### 4.4 さまざまな溶接環境におけるジルコニウムタングステン電極の性能

さまざまな溶接環境におけるジルコニウム タングステン電極の性能は、電流の種類 (DC または AC)、はんだ付け材料、およびプロセス条件によって異なります。以下では、直流 (DC) 溶接と交流 (AC) 溶接における性能を分析します。

##### 4.4.1 直流はんだ付け (DC)

直流溶接 (DC) では、ジルコニウム タングステン電極は通常、負極 (DCEN、直流電極陽極) として使用され、アークがワークピースに電子を放出します。ジルコニウム タングステン電極は、その主な利点が AC 溶接にあるため、DC 溶接で使用されることは比較的まれです。ただし、ジルコニウム タングステン電極は、低電流溶接や特殊合金溶接などの特定の DC 溶接シナリオで引き続き役割を果たすことができます。

**アーク安定性:** DC 溶接では、ジルコニウムタングステン電極のアーク安定性は、トリウムタングステンまたはランタンタングステン電極よりもわずかに劣りますが、純粋なタングステン電極よりは優れています。ジルコニアドーピングによりアークが比較的集中し、ステンレス鋼やマグネシウム合金の薄板の溶接に適しています。

**点火性能:** ジルコニウム タングステン電極は、DC 溶接で優れた点火性能を備えていますが、低電流ではセリウム タングステンまたはランタン タングステン電極ほど優れていません。

**耐焼損性:** DC 溶接では、電極先端温度が低く、ジルコニウムタングステン電極の耐焼損性はニーズを満たすのに十分であり、長寿命です。

**アプリケーションシナリオ:** DC 溶接におけるジルコニウム タングステン電極の応用は、主に医療機器の製造や食品グレードのステンレス鋼溶接など、電極汚染に敏感なシナリオに焦点を当てています。

全体として、ジルコニウム タングステン電極は、DC 溶接においてトリウム タングステンまたはランタン タングステン電極ほど優れた性能を発揮しませんが、その非放射能と耐汚染性により、特定のシナリオでは競争力があります。

##### 4.4.2 AC 溶接(AC)

AC 溶接は、特にアルミニウムやマグネシウムなどの軽金属を溶接する場合、ジルコニウム タングステン電極の主な応用分野です。交流溶接では、電極が正と負の半円を陰極と

#### 著作権および法的責任に関する声明

陽極として交互に行うため、電極先端の温度変動が大きくなり、電極の高い熱安定性と耐焼損性が求められます。

アーク安定性: ジルコニウム タングステン電極は、AC 溶接において優れたアーク安定性を示し、アークが集中し、ドリフトが低くなります。WZ8 電極は、大電流(150~400 A)で安定した円錐形のアークを形成でき、厚いアルミニウム合金の溶接に適しています。WZ3 電極は中電流(50~150 A)に適しており、シート溶接に使用されます。

点火性能: ジルコニウム タングステン電極は、AC 溶接、特に高周波 AC アークにおいて優れた点火性能を備えており、アークを迅速に開始し、点火故障を減らすことができます。

耐燃焼性: AC 溶接では、ジルコニウムタングステン電極の耐燃焼性は、純粋なタングステン電極の耐燃焼性よりも大幅に優れています。WZ8 電極は、高周波・高電流条件下でも先端形状を維持し、寿命を延ばします。

アプリケーションシナリオ: ジルコニウム タングステン電極は、航空宇宙 (航空機の胴体溶接など)、自動車製造 (アルミニウム合金ボディなど)、海洋産業 (アルミニウム合金船体など) で広く使用されています。AC 溶接における優れた特性により、アルミニウム合金溶接に適した電極となっています。

AC 溶接におけるジルコニウムタングステン電極の利点は、最新の溶接装置の現在の波形制御技術によるものでもあります。たとえば、方形波 AC は、ジルコニウムタングステン電極の高性能と組み合わせ、アークの正と負の半円周スイッチングを最適化して、溶接品質をさらに向上させることができます。

#### 4.5 ジルコニウムタングステン電極の熱力学的性質

ジルコニウムタングステン電極の熱力学的特性は、主に熱容量、熱膨張係数、熱伝導率、その他の指標を含む、高温アーク放電環境で安定した性能を維持するための基礎です。その熱力学的特性を以下で詳細に分析します。

熱容量: ジルコニウムタングステン電極の比熱容量は約  $0.13 \text{ J}/(\text{g}\cdot\text{K})$  (純タングステンに近い) は、高温で熱を吸収して蓄えることができ、チップの過熱を軽減します。ジルコニアのドーピングにより電極の熱容量がわずかに増加し、高周波交流アークの温度変動にうまく対処できるようになります。

熱膨張係数: ジルコニウムタングステン電極の熱膨張係数は約  $4.5 \times 10^{-6} \text{ K}^{-1}$  (純タングステンに近い) であり、熱膨張係数が低いため、高温での変形が少なくなり、先端形状の安定性が維持されます。ジルコニアを添加すると、熱膨張係数がさらに低下し、電極の耐熱衝撃性が向上します。

#### 著作権および法的責任に関する声明

熱伝導率:ジルコニウムタングステン電極の熱伝導率は約  $173\text{W}/(\text{m}\cdot\text{K})$ (室温)で、電極先端から他の部品に熱を素早く伝導し、局所的な過熱を防ぐことができます。WZ8 電極は、微細構造が緻密であるため、WZ3 よりも熱伝導率がわずかに優れており、大電流はんだ付けでチップ温度を低く維持するのに役立ちます。

熱安定性:ジルコニウム タングステン電極の融点が高い (約  $3422^{\circ}\text{C}$ ) ため、 $6000^{\circ}\text{C}$  を超えるアーク放電環境でも構造的完全性を維持できます。ジルコニア粒子は、結晶粒の成長と高温変形を抑制することにより、電極の熱安定性を高めます。

これらの熱力学的特性により、ジルコニウム タングステン電極は、大電流や長時間の溶接などの極端な条件下でも安定した性能を維持し、焼損や変形を軽減し、耐用年数を延ばすことができます。

#### 4.6 ジルコニウムタングステン電極の微細構造解析

ジルコニウム タングステン電極の微細構造はその性能に大きな影響を与え、通常、走査型電子顕微鏡 (SEM)、X 線回折 (XRD)、透過型電子顕微鏡 (TEM) などの技術を使用して分析されます。ジルコニウムタングステン電極の微細構造には、主にタングステンマトリックスとジルコニア粒子の分布特性が含まれます。

タングステンマトリックス:ジルコニウムタングステン電極のタングステンマトリックスは体心立方晶(BCC)結晶構造で、粒径は通常  $10\sim 50\mu\text{m}$  の範囲です。タングステンの高純度(99.5%以上)は、マトリックスのコンパクトさと機械的強度を保証します。

ジルコニア粒子:ジルコニアは小さな粒子(直径  $0.1\sim 1\mu\text{m}$ )としてタングステンマトリックスに均一に分布しており、WZ8 は WZ3 よりも粒子密度が高くなります。ジルコニア粒子は、ピン留め効果により高温でのタングステン粒子の成長を抑制し、電極の熱安定性と機械的特性を高めます。

界面特性:ジルコニアとタングステンマトリックスの界面はしっかりと結合されており、明らかな細孔や亀裂はありません。この良好な界面結合により、熱衝撃や焼損に対する電極の耐性が向上します。

微視的欠陥:高品質のジルコニウムタングステン電極の気孔率は微細構造で 0.5%未満であり、不純物相(酸化物や炭化物など)の含有量は非常に低いです。製造中の焼結と熱処理プロセスは、微細な欠陥を減らすために不可欠です。

微細構造分析により、WZ8 電極はジルコニア粒子の分布がより均一で、粒径が小さく(約  $10\sim 20\mu\text{m}$ )、大電流溶接での安定性が高いことが示されました。WZ3 電極は粒径がわずかに大きく(約  $20\sim 50\mu\text{m}$ )、中電流シナリオに適しています。微細構造の最適化はジルコニ

#### 著作権および法的責任に関する声明

ウムタングステン電極の性能を向上させる鍵であり、最新の製造技術は、ドーピングと焼結のプロセスを制御することにより、構造の均一性と密度をさらに向上させます。

#### 4.7 Zhongtungsten インテリジェント製造ジルコニウムタングステン電極 MSDS

製品安全データシート (MSDS) は、ジルコニウム タングステン電極の使用、保管、取り扱いに関する安全ガイダンスを提供します。以下は、業界標準と一般的な仕様に基づいた、中国タングステンインテリジェント製造のジルコニウムタングステン電極の MSDS の概要です。

製品名:ジルコニウムタングステン電極(WZ3、WZ8)

化学組成:タングステン(W、99.5%以上)、ジルコニア( $ZrO_2$ 、0.15%~0.9%)、微量不純物(Fe、Si、C など、<0.05%)。

物理的状态:固体金属棒、直径 1.0~6.4 mm、長さ 150~300 mm。

##### 危険の特定:

ジルコニウムタングステン電極には重大な健康被害はなく、通常の使用では非放射性です。

溶接プロセス中に金属蒸気、オゾン、紫外線が発生する可能性があるため、保護具(溶接マスク、手袋など)を着用する必要があります。

電極を研削するとタングステン粉塵が発生する場合があります、換気装置や呼吸保護装置が必要です。

##### 応急処置:

ほこりを吸い込む: 換気の良い場所に移動し、必要に応じて医師の診察を受けてください。

皮膚接触:特別な危険はなく、洗うだけです。

アイコンタクト: ほこりが目に入った場合は、水ですすぎ、医師の診察を受けてください。

防火対策:ジルコニウムタングステン電極は不燃性であり、周囲の火災に対処するには乾燥粉末または二酸化炭素消火器を使用してください。

##### 取り扱いと保管:

湿気や熱を避け、乾燥した換気の良い環境に保管してください。

使用後は、廃電極をリサイクルして金属廃棄物として処分し、無作為に廃棄しないようにする必要があります。

個人用保護具: 溶接時には保護マスク、手袋、換気装置を使用してください。研磨するときは防塵マスクとゴーグルを着用してください。

環境への影響:ジルコニウム タングステン電極には重大な環境上の危険はなく、その製造と廃棄は環境規制に準拠する必要があります。

配送情報: 危険物ではないため、輸送中の機械的損傷や湿気を避けてください。

中国タングステンインテリジェント製造のジルコニウムタングステン電極 MSDS は、国

##### 著作権および法的責任に関する声明

際規格(OSHA、REACH など)に準拠しており、ユーザーが操作中に安全で準拠していることを保証します。実際の MSDS はメーカーや地域の規制によって若干異なる場合があるため、ユーザーはサプライヤーが提供する特定のバージョンを参照することをお勧めします。



## 第5章ジルコニウムタングステン電極の調製と製造工程

ジルコニウムタングステン電極の分取製造プロセスは、原材料の選択から完成品の加工まで複数のステップを含む複雑で高精度のプロセスです。ジルコニウム タングステン電極の高性能は、原材料の品質、ドーピングの均一性、微細構造制御、および加工プロセスの最適化に依存します。この章では、ジルコニウム タングステン電極の調製と製造プロセスについて詳しく説明し、原材料の準備、粉末冶金プロセス、成形技術、表面処理と研磨、品質管理とプロセスの最適化をカバーします。

### 5.1 ジルコニウムタングステン電極の原料の調製

原材料の準備はジルコニウム タングステン電極製造の基本であり、その化学組成、微細構造、最終特性に直接影響します。ジルコニウムタングステン電極の主な原材料には、高純度のタングステン粉末とジルコニア ( $ZrO_2$ ) 化合物が含まれており、生産要件を確実に満たすために厳密に選択および前処理する必要があります。

#### 著作権および法的責任に関する声明

### 5.1.1 タングステン粉末とジルコニウム化合物の選択

#### タングステン粉末の選択

タングステン粉末 はジルコニウムタングステン電極の主原料であり、通常、タングステン酸塩(パラタングステン酸アンモニウム、APT など)から還元プロセスを通じて調製されます。タングステン粉末の純度は非常に高く、通常 99.95%以上(3N5 グレード以上)に達し、電極の性能に対する不純物(鉄、シリコン、炭素、酸素など)の影響を軽減します。タングステン粉末の粒度分布は、その後のプロセスにとって非常に重要であり、一般的な粒径は 1~10 $\mu\text{m}$ 、平均粒径は約 3~5 $\mu\text{m}$  です。粒子径が細かいと、粉末の焼結性能や電極の密度が向上しますが、粒子が細すぎると粉碎の難しさや製造コストが増加する可能性があります。

タングステン粉末の形態も厳密に制御する必要があり、流動性とかさ密度が優れており、混合およびプレスプロセスに役立つ球状または球状に近い粒子が好まれます。現代の生産では、タングステン粉末は通常、均一な形態と低い不純物含有量を確保するために、水素還元またはプラズマ球状化によって調製されます。

#### ジルコニアコンパウンドの選択

ジルコニア ( $\text{ZrO}_2$ ) はジルコニア タングステン電極のドーパントとして使用され、通常は高純度の粉末または溶液として添加されます。ジルコニアの純度は、不純物が電極の電子放出性能を妨げないようにするために、99.9%以上に達する必要があります。ジルコニア粒子の粒子サイズは通常 0.1~1 $\mu\text{m}$  の範囲であり、ナノスケールのジルコニア(<100 nm)は、タングステンマトリックス中により均一に分布し、電極の微細構造安定性を向上させることができるため、ハイエンドの電極製造で徐々に普及しつつあります。

ジルコニアの選択では、その結晶構造、通常は単斜晶系  $\text{ZrO}_2$ または部分的に安定化したジルコニア(PSZ、少量の酸化マグネシウムまたは酸化イットリウムをドーブ)も考慮する必要があります。単斜晶系ジルコニアは、高温焼結の過程で優れた安定性を備えており、ジルコニウムタングステン電極の調製に適しています。ジルコニアの添加率は、電極グレード (WZ3、WZ8 など) に従って正確に制御され、通常は 0.15% ~ 0.9%(重量パーセンテージ) です。

### 5.1.2 原材料の純度と前処理

原材料の純度:原材料の純度は、ジルコニウムタングステン電極の性能に直接影響します。タングステン粉末中の不純物(鉄<0.005%、シリコン<0.003%、炭素<0.005%)は、化学分析(ICP-MS、誘導結合プラズマ質量分析など)によって厳密に検出されます。ジルコニア中の不純物(アルミナ、酸化ケイ素など)も、電極の化学的安定性とアーク性能を確保するために 0.01% 未満に制御する必要があります。

高純度の原材料の選択は、サプライヤーの資格および製造プロセスと組み合わせる必要があります。たとえば、タングステン粉末メーカーは高度な還元および精製装置を必要とし、ジルコニアは高純度で均一な粒子形態を確保するために化学沈殿法またはゾルゲル法に

#### 著作権および法的責任に関する声明

よって調製する必要があります。

前処理前処理原料の前処理には、表面不純物の除去、粒度分布の調整、原料の均一性の向上を目的として、洗浄、乾燥、ふるい分けなどの工程が含まれます。タングステン粉末は通常、表面酸化物や有機残留物を除去するために酸洗(希塩酸や硝酸溶液など)され、その後、酸化を防ぐために真空または不活性ガス(アルゴンなど)で乾燥されます。ジルコニア粉末は、吸着した水分や揮発性不純物を除去するために、超音波洗浄または高温焼成で洗浄する必要があります。

スクリーニングは、タングステン粉末とジルコニアの粒度分布を制御するための前処理の重要なステップです。振動スクリーンまたは気流分級機は、ターゲット範囲(タングステン粉末の場合は 3~5  $\mu\text{m}$ 、ジルコニアの場合は 0.1~1  $\mu\text{m}$ )内の粒子サイズを制御するために一般的に使用されます。さらに、一部のハイエンド生産プロセスでは、原材料の形態と流れをさらに最適化するためにボールミルまたは噴霧乾燥技術が使用される場合があります。

## 5.2 ジルコニウムタングステン電極の粉末冶金プロセス

粉末冶金はジルコニウムタングステン電極製造の中核プロセスであり、混合、プレス、焼結などのステップを通じてタングステン粉末とジルコニアを緻密な電極ブランクに変換します。粉末冶金プロセスの正確な制御は、電極の微細構造と性能にとって極めて重要である。

### 5.2.1 混合と粉砕

混ぜる

混合は、タングステン粉末とジルコニア粉末を均一に結合するプロセスであり、タングステンマトリックス中のジルコニア粒子の均一な分布を確保することを目的としています。混合は通常、乾式または湿式混合プロセスを使用して行われます。

乾式混合: 高速ミキサーまたは V ミキサーを使用して、アルゴンなどの不活性ガスの保護下で混合が行われます。粉末の凝集や不純物の侵入を避けるため、混合時間は通常 2~4 時間です。

湿式混合: タングステン粉末とジルコニアを液体媒体 (エタノールや脱イオン水など) に分散させ、攪拌または超音波分散によって均一な混合を実現します。湿式混合後、噴霧乾燥または真空乾燥によって液体媒体を除去する必要があります。

混合プロセスでは、ジルコニア比 (WZ3 の場合は 0.3%、WZ8 の場合は 0.8%) を正確に制御する必要があります。通常は高精度の電子天びんを使用して計量されます。現代の生産では、遊星ミキサーなどの自動混合装置により、混合の均一性が向上し、人的エラーを減らすことができます。

#### 著作権および法的責任に関する声明

挽く

粉碎は粉末粒子をさらに微細化し、粒度分布と形態を最適化するために使用されます。一般的に使用される装置にはボールミルやエアフローミルがあり、粉碎媒体(ジルコニアボールやタングステンボールなど)には、高硬度、低汚染の材料を選択する必要があります。

粉碎時間は通常 4〜8 時間で、粉末の酸化を防ぐために温度(<50°C)を制御する必要があります。粉碎した粉末は、均一な粒子サイズを確保するために再度スクリーニングされます(タングステン粉末の場合は 2〜5 μm、ジルコニアの場合は 0.1〜0.5 μm)。

ナノスケールのジルコニアの研削には、より均一なドーピング効果を達成するために、高エネルギーのボールミルまたは超微粉碎技術が必要です。粉碎プロセス中は、性能の低下を避けるために、粉末の酸素含有量と不純物レベルを監視する必要があります。

### 5.2.2 プレス成形

プレスは、混合粉末を電極ブランクにプレスするプロセスであり、通常は冷間静水圧プレス (CIP) または成形プロセスを使用します。プレスの目的は、その後の焼結を容易にする一定の強度と密度を持つピレットを形成することです。

冷間静水圧プレス (CIP): 混合粉末を柔軟な金型に投入し、高圧 (100–200 MPa) 下で液体媒体 (水や油など) に均一にプレスして、緻密なブランクを形成します。CIP プロセスは、ピレット内の気孔率と応力集中を低減し、焼結後の電極の均一性を向上させることができます。

成形: 粉末は硬質金型と油圧プレスを使用して円筒形のブランクにプレスされ、少量生産に適しています。成形プロセスでは、ピレットのひび割れを避けるために、圧力 (50-100 MPa) と保持時間 (10-30 秒) を正確に制御する必要があります。

プレスプロセス中は、粉末のかさ密度 (通常は理論密度 50% から 60%) を制御し、金型の汚染を避ける必要があります。プレスされたピレットの直径は一般に 10〜20 mm、長さは 100〜300 mm であり、具体的なサイズはその後の加工ニーズに応じて決定されます。

### 5.2.3 焼結プロセス

焼結は、プレスされたピレットを高温に加熱して粉末粒子を緻密な材料に結合させるプロセスです。ジルコニウムタングステン電極の焼結では、通常、電極の高密度と低不純物含有量を確保するために、高温真空焼結または水素保護焼結を使用します。

焼結装置: 一般的に使用される高温真空焼結炉または水素焼結炉で、温度範囲は 1800〜2200°C です。真空焼結はピレットから酸素と揮発性不純物を効果的に除去し、水素焼結は大気を還元することでタングステンの酸化を防ぐ。

焼結プロセスパラメータ:

#### 著作権および法的責任に関する声明

温度:焼結温度は、通常、揮発性物質を除去するための 1000°C の予備焼結、粒子結合を促進するための 1800~2000°C の主焼結、結晶構造を最適化するための 2200°C の高温保存など、段階的に正確に制御する必要があります。

時間:総焼結時間は 4~8 時間、保持時間は 1~2 時間です。

雰囲気:真空 $<10^{-3}$  Pa または高純度水素(純度 $>99.999\%$ )。

焼結効果:高品質のジルコニウムタングステン電極の焼結密度は、理論密度の 95%~98% に達することができ、気孔率は 0.5%未満です。ジルコニア粒子は焼結プロセス中に均一に分布し、タングステン粒子の成長を抑制し、電極の熱安定性と機械的特性を高めます。

焼結ピレットには、X線検査または超音波検査によって内部欠陥がないか確認し、亀裂や気孔がないことを確認する必要があります。焼結プロセスの最適化はジルコニウムタングステン電極の性能を向上させる鍵であり、現代の生産では温度と雰囲気を正確に調整するためにコンピュータ制御システムがよく使用されています。

### 5.3 ジルコニウムタングステン電極の成形技術

焼結ピレットは、所望のサイズ、形状、性能を達成するために、絞り、押出、熱処理、焼きなましなどの成形技術を通じて仕様を満たす電極棒に加工する必要があります。

#### 5.3.1 絞りと押し出し

ドロワーイング

絞りととは、焼結したブランクを一連の金型を通して徐々に伸ばして細い電極棒を作るプロセスです。伸抜装置にはマルチパス伸抜機が含まれており、金型材料は通常、タングステンの高硬度に耐えるために超硬またはダイヤモンドです。描画プロセス中に次のパラメータを制御する必要があります。

引き抜き速度:0.1~1 m/min、速すぎると表面欠陥の原因になります。

潤滑剤: グラファイトまたは二硫化モリブデン潤滑剤を使用して、金型の摩耗や電極表面の傷を軽減します。

パス: 通常、ピレットの直径を 10 ~ 20 mm から 1.0 ~ 6.4 mm に減らすには、10 ~ 20 回のドロワーが必要で

引き抜かれた電極棒の直径公差は  $\pm 0.05$  mm、表面粗さ  $Ra < 0.8$   $\mu\text{m}$  以内に制御する必要があります。絞り加工により電極の機械的強度と表面仕上げを向上させることができますが、過度の伸張による内部の微小亀裂を避ける必要があります。

押し出し

押し出成形は絞り加工の代替手段であり、 $>6$  mm などの大口径電極の製造に適しています。

#### 著作権および法的責任に関する声明

押出装置は油圧押出機で、ピレットは高温(1200～1500°C)で金型で押し出され、成形されます。押出プロセスの利点は、一度に成形できるため、加工パスの数が減ることですが、設備や金型の高温耐性が必要です。

### 5.3.2 熱処理と焼きなまし

#### 熱処理

熱処理は、絞りや押し出し時の内部応力を除去し、電極の結晶構造を最適化するために使用されます。熱処理は通常、真空または水素保護炉で 1200～1600°C の温度と 1～2 時間の保持時間で行われます。熱処理により電極の延性と耐破壊性が向上し、使用中の脆性破壊のリスクが軽減されます。

#### アニーリング

アニーリングは、熱処理の次のステップであり、低速冷却(冷却速度<50°C/h)によって内部応力をさらに低減します。焼きなましプロセスにより電極の微細構造が改善され、ジルコニア粒子のより均一な分布が可能になり、電極の熱安定性とアーク性能が向上します。焼きなましされた電極の表面を検査して、酸化や亀裂がないことを確認する必要があります。

### 5.4 ジルコニウムタングステン電極の表面処理と研磨

表面処理と研磨は、ジルコニウム タングステン電極の製造における最終ステップであり、電極の表面仕上げと性能安定性を向上させることを目的としています。表面品質は、電極の点火性能と汚染防止能力に直接影響します。

#### 表面処理

表面処理には、絞り加工や押出成形プロセスで残った潤滑剤、酸化物、微細な傷を除去するための洗浄とバリ取りが含まれます。一般的な方法は次のとおりです。

化学洗浄: 5% 硝酸や塩酸などの希酸溶液を使用して電極表面を洗浄し、酸化物や不純物を除去します。

超音波洗浄: 脱イオン水またはエタノール中での超音波振動により、微小な粒子や油汚れを除去します。

プラズマ洗浄: 低温プラズマを使用して電極表面を処理し、表面の清浄度を向上させます。

#### 研磨

研磨は、電極表面の仕上げを改善し、表面粗さ(Ra<0.4μm)を低減するために使用されます。一般的に使用される研磨装置には、回転研磨機または電気化学研磨装置があり、研磨媒体はアルミナまたはダイヤモンド懸濁液です。研磨プロセスでは、過研磨による表面の過熱や変形を避けるために、速度と圧力を制御する必要があります。研磨された電極表面には鏡面光沢があり、溶接中の汚染物質の付着やアークドリフトを軽減します。

一部のハイエンド電極では、レーザー研磨またはイオンビーム研磨技術を使用してナノスケールの表面仕上げを実現し、点火性能と汚染防止機能をさらに向上させる場合があります。

#### 著作権および法的責任に関する声明

す。

## 5.5 ジルコニウムタングステン電極の品質管理とプロセスの最適化

品質管理とプロセスの最適化は、ジルコニウム タングステン電極製造のあらゆる側面に貫かれ、電極の化学組成、微細構造、性能が国際規格 (ISO 6848、AWS A5.12、GB/T 4187 など) に準拠していることを確認することを目的としています。

### 品質管理

原材料試験:ICP-MS、XRF(X 線蛍光分光法)などの方法でタングステン粉末とジルコニアの化学組成を検出し、不純物含有量が標準要件よりも低いことを確認します。

プロセス監視: オンライン監視装置 (レーザー粒度分析装置、赤外線温度計など) を使用して、混合、プレス、焼結、成形プロセス中のプロセスパラメータを制御し、粉末の粒子サイズ、ピレット密度、焼結温度をリアルタイムで検出します。

完成品検査: 焼結および成形後の電極は、次のような複数の次元でテストする必要があります。

化学組成:分光分析によりジルコニア含有量を確認します(例:WZ3 の場合は 0.3%、WZ8 の場合は 0.8%)。

微細構造:粒径とジルコニア分布を SEM と XRD で解析しました。

寸法公差:電極の直径( $\pm 0.05\text{mm}$ )と長さ( $\pm 1\text{mm}$ )はレーザー距離計でチェックされます。

表面品質:Ra 値( $< 0.4\mu\text{m}$ )を表面粗さ計で検出しました。

### プロセスの最適化

自動生産: PLC (プログラマブル ロジック コントローラー) または SCADA (データ収集および監視システム) を使用して混合、プレス、焼結プロセスを制御し、生産の一貫性と効率を向上させます。

グリーン製造:焼結プロセスを最適化して、エネルギー消費と排気ガスを削減します。廃棄物(タングステン粉末やジルコニアなど)をリサイクルして、原材料の利用率を向上させます。

インテリジェントテクノロジー: 人工知能と機械学習を導入して、データ分析を通じて最適な焼結温度や絞り速度を予測するなど、プロセスパラメータを最適化し、電極の性能と生産歩留まりを向上させます。

ナノテクノロジー: ナノスケールのジルコニア粒子と高度なドーピング技術 (ゾルゲル法など) を使用して、電極の微細構造の均一性と性能安定性を向上させます。

品質管理とプロセスの最適化の組み合わせにより、ジルコニウム タングステン電極の高性能と一貫性が保証され、航空宇宙産業や原子力産業などの要求の厳しい分野でのアプリケーションのニーズを満たします。現代の生産企業も ISO 9001 品質管理システム認証に合格し、生産プロセスをさらに標準化しています。

### 著作権および法的責任に関する声明



## 第 6 章ジルコニウムタングステン電極の製造技術

ジルコニウムタングステン電極の製造技術は、ドーピング技術、高温焼結、精密機械加工、自動化とインテリジェント生産、グリーン製造、生産問題の解決策など、高性能と高一貫性を実現するための鍵となります。タングステン不活性ガスシールド(TIG 溶接)およびプラズマ切断のコア材料として、ジルコニウムタングステン電極は、性能の最適化、コスト管理、および環境保護要件を考慮する必要があります。この章では、ジルコニウム タングステン電極製造技術のさまざまな側面を詳細に調査し、そのプロセス原理、主要技術、最新の開発を分析します。

### 6.1 ジルコニウムタングステン電極のドーピング技術

ドーピング技術はジルコニウム タングステン電極製造の中核部分であり、高純度タングステン マトリックスにジルコニア ( $ZrO_2$ ) を添加することにより、電極のアーーク安定性、着火性能、耐燃焼性を大幅に向上させます。ドーピング技術の目標は、電極の化学組成が国際規格 (ISO 6848 や AWS A5.12 など) を満たしていることを確認しながら、タングステン マトリックス中のジルコニアの均一な分布を達成することです。

#### 6.1.1 酸化ジルコニウムのドーピング方法

ジルコニアのドーピング方法は、ジルコニウムタングステン電極の微細構造と特性に直接影響します。一般的に使用されるドーピング方法には、乾式ドーピング、湿式ドーピング、

#### 著作権および法的責任に関する声明

化学共沈などがあり、それぞれに独自の利点があり、さまざまな生産ニーズや電極グレード (WZ3、WZ8 など) に適しています。

### 乾式ドーピング

ドライドーピングは、機械的混合によって高純度のタングステン粉末とジルコニア粉末をドーピングするプロセスです。混合装置は通常、高速ミキサー、V ミキサー、または遊星ボールミルであり、運転環境では粉末の酸化を防ぐために不活性ガス(アルゴンや窒素など)が必要です。ドライドーピングプロセスには次のものが含まれます。

原料の調製:純度>99.95%(粒径 3~5 $\mu\text{m}$ )、純度 99.9%ジルコニア粉末(粒径 0.1~1 $\mu\text{m}$ )の純度>タングステン粉末を選択しました。

混合:目標比率(WZ3 の場合は 0.3%ZrO<sub>2</sub>、WZ8 の場合は 0.8%ZrO<sub>2</sub>など)で成分を計量し、

高速ミキサーを使用して 100~300rpm の混合速度で 2~4 時間混合します。

ふるい分け: 混合された粉末は振動スクリーン (ふるい穴 < 10  $\mu\text{m}$ ) によって除去され、凝集した粒子が除去され、均一な粒子サイズが確保されます。

ドライドーピングの利点は、プロセスが簡単でコストが低いため、大量生産に適しています。ただし、その均一性は機械的混合効率によって制限され、局所的なジルコニア粒子が凝集しやすく、電極の性能に影響を与えます。

### 湿式ドーピング

湿式ドーピングでは、脱イオン水やエタノールなどの液体媒体にタングステン粉末とジルコニアを混合し、乾燥によって除去します。湿式ドーピングプロセスには次のものが含まれます。

分散: タングステン粉末とジルコニア粉末を液体媒体に添加し、超音波分散または高速攪拌 (500-1000 rpm) を使用して均質な懸濁液を形成します。

混合: 攪拌またはボールミル (粉碎時間 4-8 時間) により、ジルコニア粒子の均一な分布を確保します。

乾燥: 噴霧乾燥または真空乾燥 (温度 < 100°C) を使用して液体媒体を除去し、均一な混合粉末を得る。

湿式ドーピングの利点は、特にナノスケールのジルコニアドーピングの場合、より高いドーピング均一性を達成できることです。ただし、湿式ドーピングでは不純物の侵入を避けるために液体媒体の純度を制御する必要があり、乾燥プロセスによりエネルギー消費が増加する可能性があります。

化学共沈法化学共沈法は、化学反応によってタングステンマトリックス中にジルコニア粒子を直接生成する高度なドーピング技術です。プロセスには次のものが含まれます。

溶液の調製:タングステン酸塩(パラタングステン酸アンモニウムなど)を水に溶解し、ジル

#### 著作権および法的責任に関する声明

コン塩溶液(塩化ジルコニウムや硝酸ジルコニウムなど)を加えます。  
共沈:沈殿剤(アンモニアなど)を添加することにより、タングステニオンとジルコニウムイオンが同時に沈殿し、ジルコニアを含むタングステン前駆体を形成します。

焼成:沈殿物を 800~1000°C で焼成し、ジルコニアを含むタングステン粉末を製造する。

化学共沈の利点は、ドーピングの均一性が非常に高く、ジルコニア粒子がナノスケール (<100 nm) に達することができ、電極性能が大幅に向上することです。ただし、そのプロセスは複雑でコストがかかるため、主にハイエンドのジルコニウム タングステン電極の製造に使用されます。

その他のドーピング方法近年、ゾルゲルおよびプラズマ溶射法は、ジルコニウムタングステン電極のドーピング研究にも使用されています。ゾル-ゲル法はジルコニウム含有ゲル前駆体を調製することでナノスケールのドーピングを実現しますが、プラズマ溶射法は高温プラズマを介してジルコニアをタングステンマトリックス上に堆積させます。これらの方法は、大電流プラズマ切断などの特殊用途の電極に適していますが、工業生産ではまだ広く使用されていません。

### 6.1.2 ドーピング均一性管理

ドーピングの均一性は、ジルコニウムタングステン電極の性能の一貫性の鍵であり、電極のアーク安定性と耐用年数に直接影響します。不均一なドーピングは局所的な性能のばらつきを引き起こし、アークドリフトや電極の焼損につながる可能性があります。ドーピングの均一性管理は、次の側面から始める必要があります。

原料の粒度制御:タングステン粉末とジルコニアの粒子サイズを一致させる必要があり、通常、タングステン粉末の場合は 3~5 $\mu$ m、ジルコニアの場合は 0.1~1 $\mu$ m です。粒径差が大きすぎると、混合が不均一になり、焼結効果に影響を与える可能性があります。

混合装置の最適化: 遊星ボールミルや超音波分散機などの高精度混合装置を使用して、ジルコニア粒子の均一な分布を確保します。混合時間と速度は、粉末の特性に応じて最適化する必要があり、たとえば、湿式ドーピングでは、500~1000 rpm の制御された混合速度

と 4~6 時間の混合時間が必要です。

オンラインモニタリング: レーザー粒度分析装置と走査型電子顕微鏡 (SEM) を使用して、粉末の粒度分布と混合均一性をリアルタイムで監視します。最新の生産では、AI アルゴリズムを使用して SEM 画像を分析し、ドーピングの均一性を予測できます。

プロセスパラメータの調整: 混合時間、媒体比、粉碎強度を調整してジルコニアの分布を最適化します。たとえば、分散剤 (ポリビニル アルコールなど) を湿式ドーピングに添加して、懸濁液の安定性を向上させることができます。

品質検査: 混合粉末は、蛍光 X 線分光法 (XRF) または誘導結合プラズマ質量分析 (ICP-MS) によって検出され、目標グレード (WZ3、WZ8 など) と一致していることを確認する必要があります。

#### 著作権および法的責任に関する声明

ドーピング均一性制御における最近の進歩には、ナノテクノロジーの応用やインテリジェントな混合装置などがあります。ナノスケールのジルコニアの導入によりドーピングの均一性が大幅に向上し、インテリジェントな混合装置により、リアルタイムのフィードバックを通じてプロセスパラメータを調整することで生産の一貫性がさらに向上します。

## 6.2 ジルコニウムタングステン電極の高温焼結技術

高温焼結は、混合粉末をピレットにプレスし、高温処理によって緻密な電極ブランクに結合する重要なプロセスです。焼結技術は、ジルコニウムタングステン電極の密度、微細構造、性能安定性に直接影響します。ジルコニウムタングステン電極の焼結は、通常、タングステンの酸化を防ぎ、高密度を確保するために、真空焼結または水素保護焼結を使用して行われます。

### 焼結装置

高温焼結炉は焼結プロセスの中核設備であり、高精度の温度制御と雰囲気制御機能が必要です。一般的に使用される機器には次のものがあります。

真空焼結炉:真空 $<10^{-3}$  Pa、温度範囲 1800~2200°C、高純度電極製造に適しています。

水素焼結炉:高純度水素(>99.999%)を保護雰囲気として使用し、タングステンの酸化を防ぎ、大量生産に適しています。

マイクロ波焼結炉:近年登場した焼結技術で、マイクロ波加熱により高速で均一な焼結を実現し、焼結時間(2~4時間)を短縮します。

### 焼結プロセス

焼結プロセスは通常、予備焼結、主焼結、保温の3つの段階に分けられます。

予備焼結(800-1000°C):ピレットから揮発性不純物(水分、潤滑剤など)と吸着ガスを1-2時間除去する。

主焼結(1800-2000°C):タングステン粒子の結合とジルコニア分散相の形成を2-4時間促進する。焼結温度は、過剰な粒径や多孔質残留物を避けるために正確に制御( $\pm 10^{\circ}\text{C}$ )する必要があります。

断熱 (2000~2200°C): 結晶構造を最適化し、電極のコンパクトさと熱安定性を高めるために、1-2時間保温します。

### 焼結パラメータ

温度:焼結温度は電極グレードに応じて最適化する必要があり、ジルコニア粒子の均一な分布を確保するには、WZ8(ジルコニア含有量が高い)をより高い温度(2000~2200°C)にする必要があります。

雰囲気:真空焼結は $<10^{-3}$  Pa の真空度を維持する必要があり、水素焼結は還元雰囲気を維持するために水素ガス流量(10-50 L/min)を制御する必要があります。

加熱速度:急速加熱によるピレットのひび割れを避けるために、通常 5~10°C/分。

#### 著作権および法的責任に関する声明

冷却速度:内部応力の蓄積を防ぐために 20~50°C/h に制御されます。

#### 焼結効果

高品質のジルコニウムタングステン電極の焼結密度は、理論密度の 95%~98%に達し、気孔率<0.5%です。ジルコニア粒子は焼結中に安定した分散相を形成し、タングステン結晶粒の成長を阻害します(粒径 10~20 $\mu$ m)。焼結ピレットには、X線検査または超音波検査によって内部欠陥がないか確認し、亀裂や気孔がないことを確認する必要があります。

技術の進歩近年、高温焼結技術の進歩には次のようなものがあります。

プラズマ焼結(SPS):高電圧パルス電流(加熱速度>100°C/min)による急速加熱により、焼結時間を短縮し、密度を高めます。

マイクロ波焼結: マイクロ波エネルギーを利用して均一な加熱を行い、エネルギー消費を削減し、微細構造を改善します。

インテリジェント制御: コンピューター制御システムとセンサーを使用して、温度、雰囲気、ピレットの状態をリアルタイムで監視し、焼結パラメータを最適化します。

高温焼結技術の最適化により、ジルコニウムタングステン電極の性能の一貫性と生産効率が大幅に向上し、高精度溶接に信頼性の高い材料サポートを提供します。

### 6.3 ジルコニウムタングステン電極の精密加工技術

精密機械加工技術は、絞り、押出、切断、研削などのプロセスを含む、焼結ピレットを仕様を満たす電極ロッドに加工する上で重要なステップです。精密機械加工の目標は、電極の高い寸法精度、表面仕上げ、性能安定性を実現することです。

絞り技法 絞りは、焼結ピレットを一連の金型を通して徐々に伸ばして細い電極棒を作るプロセスです。伸抜装置はマルチパス伸抜機であり、金型材料は通常、タングステンの高い硬度に耐えるために超硬またはダイヤモンドです。描画プロセスパラメータには、次のものが含まれます。

引き抜き速度:0.1~1 m/min、速すぎると表面に傷や内部の微小亀裂が発生する可能性があります。

金型設計:金型穴のサイズを徐々に縮小し(毎回 5%~10%)、ピレット直径を 10~20mm から 1.0~6.4mm に縮小し、合計 10~20 回パスします。

潤滑剤: グラファイトまたは二硫化モリブデン潤滑剤を使用して、金型の摩耗と電極表面の欠陥を軽減します。

引き抜かれた電極の直径公差は  $\pm 0.05$  mm に制御し、表面粗さは  $Ra < 0.8$   $\mu$ m にする必要

#### 著作権および法的責任に関する声明

があります。最新の絞り技術では、サーボ制御システムを採用して引っ張り速度と張力を正確に調整し、加工の一貫性を向上させます。

押出技術 押出は絞り加工の代替手段であり、大口径電極(>6mm)の製造に適しています。

押出装置は高温油圧押出機で、ピレットは 1200~1500°C の金型で押し出され、成形されます。押出プロセスの利点は、加工パスが少ないことですが、金型の高温耐性は高くなります。押し出された電極は、内部応力を除去するために熱処理する必要があります。

切断技術切断は、長い電極棒を標準長(150mm、175mm など)に絞ったり押し出したりした後、切断するために使用されます。一般的に使用される機器にはワイヤー切断機やレーザー切断機があり、切断精度は±1mm に制御する必要があります。電極の過熱を防ぐために、切断プロセス中にクーラント (水や油など) を使用してください。

研削技術研削は、電極表面の仕上げと先端形状を改善するために使用されます。一般的な機器には、アルミナまたはダイヤモンド懸濁液の粉碎媒体を備えた CNC 研削盤が含まれます。先端の研削角度 (30°-60°) は溶接のニーズに応じて最適化され、AC 溶接は通常、アーク安定性を向上させるために鈍角 (45°-60°) です。研磨された電極の表面粗さは Ra<0.4μm でした。

技術の進歩精密機械加工技術の最近の開発には次のようなものがあります。

レーザー加工:レーザー切断・研磨技術により、ナノスケールの表面仕上げと高精度な寸法制御を実現します。

CNC 加工:5 軸 CNC マシンを使用して、特殊な溶接ニーズに合わせて複雑な電極形状を加工します。

表面改質:イオンビーム研磨やプラズマ処理により表面抵抗を改善します。

精密機械加工技術の進歩により、ジルコニウムタングステン電極の寸法精度と性能安定性が大幅に向上し、航空宇宙産業や原子力産業などの需要の高い分野の用途ニーズに応えています。

#### 6.4 ジルコニウムタングステン電極の自動化とインテリジェント生産技術

自動化およびインテリジェント生産技術は、ジルコニウムタングステン電極製造の将来の方向性であり、自動化機器、産業用モノのインターネット、人工知能技術の導入を通じて、生産効率、品質の一貫性、プロセス制御性を向上させます。

自動生産自動化技術は、ジルコニウム タングステン電極製造のあらゆる側面をカバーします。

原材料の取り扱い: ロボットバッチ処理システムなどの自動計量および混合装置により、正確な原材料比率が保証され、人的エラーが削減されます。

プレスと成形: 自動冷間静水圧プレスは、PLC (プログラマブル ロジック コントローラ

#### 著作権および法的責任に関する声明

一) を通じて圧力と保持時間を制御し、ピレットの一貫性を向上させます。

焼結: 自動焼結炉には、プロセスパラメータをリアルタイムで調整するための温度センサーと雰囲気センサーが装備されています。

加工と検査: 自動伸線機と CNC 切断機により高精度加工が実現し、オンライン検査装置(レーザー距離計、X線検出器など)が電極の品質をリアルタイムで監視します。

自動化された生産ラインの代表的な構成には、SCADA(データ収集および監視システム)とMES(製造実行システム)があり、データ統合による全プロセスの監視と最適化を可能にします。

インテリジェントな生産

インテリジェントな生産は、人工知能とビッグデータ分析を通じて生産効率と品質をさらに向上させます。

プロセスの最適化: 機械学習アルゴリズムを使用して過去の生産データを分析し、最適な混合、焼結、および処理パラメータを予測します。たとえば、焼結温度はニューラルネットワークモデルによって最適化され、エネルギー消費量が10%~15%削減されます。

品質予測: AIベースの画像認識技術は、SEM画像を分析して、電極の微細構造の均一性と欠陥率を予測します。

障害診断: IoTセンサーを通じてデバイスの状態を監視し、潜在的な障害を予測し、予防メンテナンスを実施してダウンタイムを削減します。

サプライチェーン管理: インテリジェントシステムは、ERP(エンタープライズリソースプランニング)を通じて原材料調達、生産計画、在庫管理を統合し、生産効率を向上させます。

自動化とインテリジェントな生産技術の適用により、生産コストが大幅に削減され、ジルコニウムタングステン電極の性能の一貫性と市場競争力が向上しました。

## 6.5 ジルコニウムタングステン電極のグリーン生産と環境保護技術

グリーン生産と環境保護技術は、エネルギー消費、廃棄物の排出、環境汚染を削減し、持続可能な開発の要件を満たすことを目的とした、ジルコニウムタングステン電極製造の重要な開発方向です。

### エネルギーの最適化

効率的な焼結: マイクロ波焼結またはプラズマ焼結技術により、焼結時間(2~4時間)を短縮し、エネルギー消費量を20%~30%削減します。

廃熱回収: 焼結炉や熱処理炉からの廃熱を利用して、乾燥や予熱などの他のプロセスにエネルギーを供給し、エネルギー利用率を向上させます。

再生可能エネルギー: 一部の生産会社は、太陽光または風力エネルギーを使用して電力を供給し、二酸化炭素排出量を削減しています。

#### 著作権および法的責任に関する声明

CTIA GROUP LTD

Zirconium Tungsten Electrode Introduction

1. Overview of Zirconium Tungsten Electrode

Zirconium tungsten electrode is a non-radioactive welding electrode made by doping a small amount of zirconium oxide (ZrO<sub>2</sub>) into a high-purity tungsten base. It is specifically optimized for AC TIG (Tungsten Inert Gas) welding. Its excellent arc stability and outstanding resistance to contamination make it the preferred choice for welding aluminum, magnesium, and their alloys.

2. Types of Zirconium Tungsten Electrode

Grade	Tip Color	ZrO <sub>2</sub> Content (wt.%)	Characteristics & Applications
WZ3	Brown	0.2-0.4	Ideal for low to medium intensity AC welding; cost-effective
WZ38	White	0.7-0.9	Industry-standard grade with excellent overall performance

3. Standard Sizes & Packaging of Zirconium Tungsten Electrode

Diameter (mm)	Length (mm)	Regular Coloring	Packing:
1.0	150 / 175	Black / Gold / Blue	10 pcs/box
1.6	150 / 175	Black / Gold / Blue	10pcs/box
2.0	150 / 175	Black / Gold / Blue	10pcs/box
2.4	150 / 175	Black / Gold / Blue	10pcs/box
3.2	150 / 175	Black / Gold / Blue	10pcs/box
4.0	150 / 175	Black / Gold / Blue	10pcs/box
Remark	The sizes can be customized		

4. Applications of Zirconium Tungsten Electrode

- Welding of aluminum and aluminum alloys: such as doors, windows, frames, and automotive body structures
- Welding of magnesium and magnesium alloys: widely used in aerospace lightweight components
- AC welding of stainless steel (under specific low-current conditions)
- Precision welding in aerospace, rail transit, pressure vessels, etc.
- Used in automated welding systems and robotic torch assemblies

5. Procurement Information

Email: sales@chinatungsten.com  
Phone: +86 592 5129595; 592 5129696  
Website: www.tungsten.com.cn

著作権および法的責任に関する声明

### スクラップリサイクル

タングステン粉末のリサイクル:生産中のタングステン廃棄物は、化学的精製および還元プロセスを通じて回収され、回収率は90%以上です。

ジルコニアの再利用: 研削および切断プロセス中に発生するジルコニア粉塵は収集され、次の生産バッチのために再精製されます。

廃水処理:湿式ドーピングや洗浄中に発生する廃水は、ろ過・化学処理され、重金属が除去され、排出基準を満たします。

### 環境に優しいプロセス

低汚染ドーピング:無溶剤の湿式ドーピングまたは化学共沈法を使用して、有機溶媒の使用を削減します。

ダストフリー生産:粉塵排出量(<10 mg/m<sup>3</sup>)は、混合および粉碎プロセスにおいて、密閉装置と効率的なダスト除去システムを使用して制御されます。

グリーン包装: プラスチック汚染を軽減するために、電極の包装にリサイクル可能な材料(紙や分解性プラスチックなど)を使用します。

規制遵守 ジルコニウム タングステン電極の製造は、EU REACH 規制や中国の環境保護法などの国際および国内の環境規制に準拠する必要があります。メーカーは、排気ガス、廃水、固形廃棄物の処理が基準を満たしていることを確認するために、定期的な環境影響評価を実施する必要があります。

グリーン生産技術の適用は、環境への影響を軽減するだけでなく、企業の社会的責任と市場競争力も向上させます。たとえば、グリーン製造で作られたジルコニウム タングステン電極は、ヨーロッパとアメリカの市場でより人気があり、環境に優しい製品に対する顧客のニーズを満たしています。

### 6.6 本番環境における一般的な問題と解決策

ジルコニウムタングステン電極の製造プロセスでは、ドーピングの不均一、焼結欠陥、加工亀裂、性能の不安定など、さまざまな問題に遭遇する可能性があります。次の分析 一般的な問題とその解決策:

#### 問題 1:不均一なドーピング

現象: ジルコニア粒子はタングステンマトリックス中に不均一に分布しており、電極の性能が不安定になったり、アークドリフトが発生したり、点火が困難になったりします。

原因:混合時間が不十分、粒度差が大きい、または装置の性能が不十分です。

解決:

混合時間の延長(4~6時間)と混合速度の向上(500~1000 rpm)。

ナノスケールジルコニア(<100 nm)またはウェットドーピングを使用して均一性を向上させます。

ドーピング効果は、オンライン粒度分析装置と SEM によって検出され、プロセスパラメータが調整されました。

#### 著作権および法的責任に関する声明

## 問題 2:焼結欠陥(気孔や亀裂など)

現象: 焼結ピレットの内部に気孔や亀裂が現れ、電極密度と機械的強度が低下する。

原因:焼結温度が高すぎる/低すぎる、加熱速度が速すぎる、または雰囲気適切に制御されていない。

解決:

焼結曲線を最適化して、加熱速度(5~10°C/分)と保持時間(1~2時間)を制御します。

真空度(<10<sup>-3</sup> Pa)または水素純度(>99.999%)の増加。

X 線または超音波を使用してピレットの欠陥を検出し、不適合製品を排除します。

## 問題 3:クラックの加工

現象: 伸線または切断中に電極の表面または内部にマイクロクラックが発生し、性能と寿命に影響を与えます。

原因:絞り速度が速すぎる、金型の摩耗や内部応力が除去されない。

解決:

引抜速度(0.1~0.5m/min)を下げ、定期的に金型を交換してください。

内部応力を除去するために熱処理と焼きなましステップが追加されます(焼きなまし温度 1200~1400°C)。

機械切断の代わりにレーザー切断が使用され、応力集中が軽減されます。

## 問題 4: パフォーマンスが不安定

現象:溶接中に電極のアークが不安定になったり、寿命が短くなったりします。

理由:原材料の過剰な不純物、不均一な微細構造、または表面品質の悪さ。

解決:

原料の検出を強化し、ICP-MS を使用して不純物含有量(<0.005%)を制御します。

ドーピングと焼結プロセスを最適化して、ジルコニアの均一な分布と粒度制御(10~20 μm)を確保します。

表面研磨精度(Ra<0.4μm)の向上と汚染物質の付着の低減。

## 質問 5:環境保護問題

現象: 製造工程中に排気ガス、廃水、粉塵が過剰に排出され、コンプライアンスに影響を与えます。

原因: 非効率な除塵装置、不適切な廃水処理、または高いエネルギー消費。

解決:

高効率集塵システム(HEPA フィルターなど)を設置して、粉塵の排出を 10mg/m<sup>3</sup><制御します。

クローズドサイクル廃水処理システムは、重金属や化学物質を回収するために使用されます。

マイクロ波焼結や再生可能エネルギーによるエネルギー消費量の削減。

### 著作権および法的責任に関する声明

体系的なプロセスの最適化と品質管理を通じて、上記の問題を効果的に解決し、ジルコニウムタングステン電極の高性能と生産効率を確保できます。



## 第7章ジルコニウムタングステン電極の用途

ジルコニウム タングステン電極は、優れたアーク安定性、発火性能、耐焼損性、耐汚染性により、現代の産業で幅広い用途に使用されています。ジルコニウムタングステン電極は、主にタングステン不活性ガスシールド溶接(TIG 溶接)、プラズマ切断、プラズマ溶射などのプロセス、特に交流(AC)溶接で使用され、アルミニウムやマグネシウムなどの軽金属とその合金の加工に適しています。また、航空宇宙、原子力産業、医療機器製造、特殊環境などの高精度分野での応用も増加しています。この章では、ジルコニウム タングステン電極のさまざまな用途を詳細に調査し、さまざまなプロセスや産業におけるジルコニウム電極の特定の性能を分析し、現代産業におけるジルコニウム タングステン電極の重要性を包括的に実証するために、代替品と競争環境を詳細に分析します。

### 7.1 TIG 溶接におけるジルコニウムタングステン電極の応用

タングステン不活性ガス溶接(TIG 溶接)は、ジルコニウムタングステン電極の最も重要な応用分野です。TIG 溶接は、高精度、スパッタがなく、優れた溶接品質により、航空宇宙、自動車製造、造船業、精密機器製造など、高品質の溶接を必要とする産業シナリオで広く使用されています。ジルコニウム タングステン電極は、AC 溶接における優れた性能により、アルミニウム、マグネシウム合金、ステンレス鋼などの溶接材料に特に適しており、

#### 著作権および法的責任に関する声明

TIG 溶接で好まれる電極の 1 つとなっています。

### 7.1.1 アルミニウムおよびアルミニウム合金溶接

アルミニウムおよびアルミニウム合金は、軽量、高強度/重量比、優れた熱伝導率、耐食性により、航空宇宙、自動車製造、造船業、建設業界で広く使用されています。しかし、アルミニウム溶接には、主に表面にアルミナ ( $Al_2O_3$ ) 膜が形成されるため、重大な技術的課題が生じます。アルミナの融点は  $2050^{\circ}C$  と高く、アルミニウム(約  $660^{\circ}C$ )よりもはるかに高く、化学的安定性が高いため、アークの不安定性、溶接気孔、非融着などの欠陥が発生しやすくなります。ジルコニウムタングステン電極は、アルミニウムおよびアルミニウム合金の AC TIG 溶接において優れた性能を示し、その利点は次の側面に反映されています。

**アーク安定性:**ジルコニウムタングステン電極は、ジルコニア( $ZrO_2$ )をドーブした電子逃げ仕事(約  $2.7\sim 3.0\text{ eV}$ 、純タングステンの  $4.5\text{ eV}$  よりも大幅に低い)を低減し、AC 正および負の半円周スイッチング中にアークが安定したままになります。AC 溶接の正の半周(電極は陽極)は、アルミニウム表面から酸化膜を効果的に除去する「洗浄効果」があり、ジルコニウムタングステン電極のアーク濃度は溶接の品質を保証します。WZ8 電極( $0.7\%\sim 0.9\%ZrO_2$ を含む)は、大電流( $150\sim 400\text{ A}$ )で円錐形のアークを形成でき、厚いアルミニウム合金(5xxx、6xxx シリーズ、厚さ $>5\text{ mm}$  など)の溶接に適しています。 $0.15\%\sim 0.4\%ZrO_2$ の WZ3 電極は、シート溶接(厚さ $<3\text{ mm}$ )の低～中電流( $50\sim 150\text{ A}$ )に適しています。

**点火性能:**ジルコニウム タングステン電極の電子脱出能力が低いため、高周波 AC アークで急速に点火でき、点火電圧は通常  $50\text{ V}$  未満であるため、点火失敗の可能性が大幅に減少します。これは、生産性を向上させ、機器の損失を削減する自動 TIG 溶接にとって特に重要です。たとえば、アルミニウム合金シートを溶接する場合、WZ3 電極の急速点火により、複数回の点火によって引き起こされる局所的な過熱が回避されます。

**耐燃焼性:**ジルコニウムタングステン電極の高い融点(約  $3422^{\circ}C$ 、純タングステンに近い)とジルコニアの分散相保護により、高温アーク( $6000^{\circ}C$  以上)でも先端形状を維持し、焼損を減らすことができます。WZ8 電極の寿命は、大電流での長期溶接時に純タングステン電極の 2～3 倍に達する可能性があり、電極交換の頻度と製造コストを大幅に削減します。

**汚染防止能力:**アルミニウム合金溶接では、酸化アルミニウムやその他の揮発性不純物が電極先端に付着しやすく、アークが不安定になります。ジルコニウム タングステン電極の化学的安定性により、表面が酸化物と反応しにくくなり、アークがきれいに保たれ、溶接欠陥が軽減されます。WZ8 電極は、高湿度や複雑な環境でも安定した性能を維持できます。

#### 著作権および法的責任に関する声明

## 応用例:

自動車産業: アルミニウム合金 (5083、6061 など) は、ボディフレームやバッテリーハウジングなどの新エネルギー車や軽量車の製造に広く使用されています。ジルコニウム タングステン電極 (WZ8) は、TIG 溶接における高強度で欠陥のない溶接を保証します。たとえば、テスラ モデル Y のアルミニウム合金ボディ溶接には WZ8 電極が使用されており、生産効率と溶接品質が大幅に向上します。

海洋産業: アルミニウム合金船体 (5083-H116 など) は海水腐食に対する耐性が必要であり、TIG 溶接では構造強度を確保するために高品質の溶接が必要です。ジルコニウム タングステン電極の汚染防止能力により、高湿度、塩分の多い環境でも優れており、豪華ヨットや軍艦の製造に広く使用されています。

航空宇宙: アルミニウム合金 (例: 7075、2024) は航空機の胴体や翼の構造に使用されており、非常に高い溶接強度と表面品質が要求されます。ジルコニウム タングステン電極 (WZ8) は、ボーイング 787 およびエアバス A350 のアルミニウム合金部品の溶接に広く使用されており、そのアーク安定性と耐燃焼性は航空宇宙分野の厳しい要件を満たしています。

建築と装飾: アルミニウム合金のカーテンウォールと構造コンポーネント (6063 合金など) は現代の建築で広く使用されており、ジルコニウム タングステン電極 (WZ3) は薄板溶接に使用されており、見た目にも美しくスパッタのない溶接を保証します。

## プロセスパラメータ:

電流タイプ: 交流 (AC)、方形波 AC はアークの安定性をさらに最適化できます。

電流範囲: 50~150 A(WZ3、シート) または 150~400 A(WZ8、プレート)。

電極径: 1.6~2.4 mm(薄板) または 2.4~3.2 mm(厚板)。

チップ角度: アーク集中を最適化するための 45°~60°。

シールドガス: 高純度アルゴン (>99.99%) または アルゴンヘリウム混合物 (70%アルゴン+30%ヘリウム)、流量 10~20 L/min。

溶接速度: 0.1~0.5 m/min、材料の厚さと装置の調整によって異なります。

アルミニウムおよびアルミニウム合金の溶接はジルコニウム タングステン電極の中核的な応用分野であり、その優れた性能により溶接品質と生産効率が大幅に向上します。

### 7.1.2 ステンレス鋼とマグネシウム合金の溶接

ステンレス鋼とマグネシウム合金は TIG 溶接の一般的な材料であり、医療機器、化学、航空宇宙、自動車産業で広く使用されています。ジルコニウム タングステン電極は、これらの材料の AC および直流 (DC) 溶接、特に AC 溶接において優れた適応性を示します。

ステンレス鋼溶接ステンレス鋼 (304、316L、430 など) は、その優れた耐食性と機械的特性により、食品加工機器、医療機器、化学パイプライン、建築構造物に広く使用されています。

#### 著作権および法的責任に関する声明

ます。ジルコニウムタングステン電極は、ステンレス鋼の TIG 溶接、特に AC 溶接において次の利点を提供します。

**アーク安定性:** ジルコニウム タングステン電極は AC 溶接において安定したアークを提供し、溶接部の気孔率、亀裂、酸化物介在物を低減します。AC ポジティブ半円周の洗浄作用により、ステンレス鋼表面から酸化クロム( $\text{Cr}_2\text{O}_3$ )やその他の不純物を効果的に除去し、溶接部をきれいに保ちます。WZ3 電極は、ステンレス鋼の薄板(厚さ<2mm など)の精密溶接のための低電流から中電流(50~150 A)に適しています。WZ8 電極は、厚板溶接の大電流(150~300 A)に適しています。

**点火性能:** ジルコニウム タングステン電極の低点火電圧と高速点火特性により、特に高周波 AC 溶接における溶接中のアーク中断が軽減されます。これは、ステンレス鋼管の製造などの自動溶接ラインにとって非常に重要です。

**汚染防止能力:** ステンレス鋼の溶接では酸化クロムやその他の揮発性不純物が発生する可能性があり、ジルコニウムタングステン電極の化学的安定性により、表面が汚染を受けにくくなり、アーク安定性が維持されます。WZ8 電極は、高湿度や油性環境などの複雑な環境でも性能を維持します。

**耐燃焼性:** ジルコニウムタングステン電極は、AC 溶接における正の半円周の高温衝撃に耐えることができ、チップの焼損を減らし、耐用年数を延ばします。たとえば、WZ8 電極は、連続溶接において純粋なタングステン電極の 2 倍以上長持ちします。

#### 応用例:

**医療機器:** 316L ステンレス鋼は手術器具やインプラントの製造に使用され、滑らかな溶接とスパッタが要求されます。ジルコニウム タングステン電極 (WZ3) は、TIG 溶接における高精度と高品質の溶接を保証し、医療業界の厳しい衛生基準を満たします。

**化学工業:** 304 ステンレス鋼パイプは腐食性液体の搬送に使用され、ジルコニウム タングステン電極 (WZ8) は厚肉パイプ溶接において安定したアーク放電特性と防汚特性を提供し、溶接耐食性を確保します。

**食品加工:** ステンレス鋼の容器(貯蔵タンクや攪拌機など)は食品安全基準を満たす必要があり、ジルコニウムタングステン電極の汚染防止能力により溶接汚染が回避され、生産効率が向上します。

マグネシウム合金の溶接マグネシウム合金 (AZ31、AZ91、WE43 など) は、その密度が非常に低く (約  $1.74 \text{ g/cm}^3$ ) 強度/重量比が高いため、航空宇宙、自動車、エレクトロニクス産業でますます使用されています。しかし、マグネシウム合金は融点が低く(約  $650^\circ\text{C}$ )、化学活性が高く、酸化マグネシウム( $\text{MgO}$ 、融点約  $2852^\circ\text{C}$ )の皮膜が形成されやすいため、溶接が困難です。ジルコニウムタングステン電極は、マグネシウム合金の AC TIG 溶接に優れています。

#### 著作権および法的責任に関する声明

アーク制御: ジルコニウム タングステン電極の集中アークにより、入熱を正確に制御でき、マグネシウム合金の過熱や焼き付きを回避できます。WZ3 電極はマグネシウム合金の薄板(厚さ<3mm)に適しており、WZ8 電極は厚板(厚さ>5mm)または大電流(150~250A)の溶接に適しています。

耐酸化性: ジルコニウム タングステン電極は酸化マグネシウム汚染に耐性があり、マグネシウム合金溶接におけるアーク安定性を維持します。その表面仕上げ(Ra<0.4μm)は、汚染物質の付着をさらに低減します。

点火性能: ジルコニウム タングステン電極は高周波 AC アークで急速に点火し、点火困難による溶接欠陥を低減し、特に自動溶接に適しています。

耐燃焼性: ジルコニウム タングステン電極は耐燃焼損性が高いため、AC 溶接におけるマグネシウム合金溶接の高温環境に耐えることができ、電極の寿命を延ばします。

### 応用例:

航空宇宙: マグネシウム合金は、衛星構造部品、ドローン フレーム、ヘリコプター コンポーネントの作成に使用されます。ジルコニウム タングステン電極 (WZ8) は、TIG 溶接における高強度で欠陥のない溶接を保証します。たとえば、SpaceX のスターシップ ロケットの一部の構造部品はマグネシウム合金で溶接されており、ジルコニウム タングステン電極が一般的な選択肢です。

自動車産業: マグネシウムホイールとサスペンション部品は軽量自動車設計に使用され、ジルコニウム タングステン電極 (WZ3) はシート溶接で高品質の溶接を提供します。

エレクトロニクス産業: マグネシウム合金の筐体はラップトップや携帯電話に使用されており、ジルコニウム タングステン電極は精密溶接における美観と構造強度を保証します。

### プロセスパラメータ:

電流タイプ: 交流 (AC) または直流 (DCEN、材料および機器の要件に応じて)。

電流範囲: 50~150 A(WZ3、ステンレス鋼/シートマグネシウム合金)または 150~300 A(WZ8、厚板)。

電極径: 1.6~2.4 mm(薄板)または 2.4~3.2 mm(厚板)。

先端角度: 30°~60°、薄板溶接は鋭角(30°~45°)に偏り、厚板は鈍角(45°~60°)に偏ります。

シールドガス: アルゴンまたはアルゴンとヘリウムの混合物(70%アルゴン+ 30%ヘリウム)、流量 12~20 L / min。

溶接速度: 0.1~0.4 m / min、材料の厚さとプロセスの最適化によって異なります。

ジルコニウム タングステン電極は、ステンレス鋼およびマグネシウム合金溶接における優れた特性により、高精度で複雑な材料の溶接において重要な位置を占め、さまざまな産業分野の厳しい要件を満たしています。

### 著作権および法的責任に関する声明

CTIA GROUP LTD

Zirconium Tungsten Electrode Introduction

1. Overview of Zirconium Tungsten Electrode

Zirconium tungsten electrode is a non-radioactive welding electrode made by doping a small amount of zirconium oxide (ZrO<sub>2</sub>) into a high-purity tungsten base. It is specifically optimized for AC TIG (Tungsten Inert Gas) welding. Its excellent arc stability and outstanding resistance to contamination make it the preferred choice for welding aluminum, magnesium, and their alloys.

2. Types of Zirconium Tungsten Electrode

Grade	Tip Color	ZrO <sub>2</sub> Content (wt.%)	Characteristics & Applications
WZ3	Brown	0.2-0.4	Ideal for low to medium intensity AC welding; cost-effective
WZ38	White	0.7-0.9	Industry-standard grade with excellent overall performance

3. Standard Sizes & Packaging of Zirconium Tungsten Electrode

Diameter (mm)	Length (mm)	Regular Coloring	Packing:
1.0	150 / 175	Black / Gold / Blue	10 pcs/box
1.6	150 / 175	Black / Gold / Blue	10pcs/box
2.0	150 / 175	Black / Gold / Blue	10pcs/box
2.4	150 / 175	Black / Gold / Blue	10pcs/box
3.2	150 / 175	Black / Gold / Blue	10pcs/box
4.0	150 / 175	Black / Gold / Blue	10pcs/box
Remark	The sizes can be customized		

4. Applications of Zirconium Tungsten Electrode

- Welding of aluminum and aluminum alloys: such as doors, windows, frames, and automotive body structures
- Welding of magnesium and magnesium alloys: widely used in aerospace lightweight components
- AC welding of stainless steel (under specific low-current conditions)
- Precision welding in aerospace, rail transit, pressure vessels, etc.
- Used in automated welding systems and robotic torch assemblies

5. Procurement Information

Email: sales@chinatungsten.com  
Phone: +86 592 5129595; 592 5129696  
Website: www.tungsten.com.cn

著作権および法的責任に関する声明

## 7.2 プラズマ切断およびスプレーにおけるジルコニウムタングステン電極の応用

プラズマ切断とプラズマ溶射は、ジルコニウム タングステン電極の重要な応用分野であり、高温プラズマ アークの生成と制御が含まれます。ジルコニウム タングステン電極は、燃焼に対する耐性、アーク安定性、汚染に対する耐性が高いため、これらの高強度プロセスに最適です。

### プラズマ切断

プラズマ切断は、高温プラズマアーク(温度は 20,000°C 以上に達することもあります)を使用して金属材料を溶かして吹き飛ばし、鋼、アルミニウム合金、ステンレス鋼、銅合金の切断に広く使用されており、造船、建設、自動車製造、重機産業に適しています。ジルコニウム タングステン電極はプラズマ切断において陰極として機能し、次のような性能上の利点を備えた安定したプラズマ アークを提供します。

アーク安定性:ジルコニウムタングステン電極(WZ8)は、大電流(100~500 A)で安定したプラズマアークを形成することができ、アークカラムのドリフトを低減し、平らな切断エッジ(粗さ Ra<25µm)を保証します。そのアーク濃度は、厚板(厚さ 20~50 mm)または複雑な形状の切断に適しています。

耐燃焼性:ジルコニウム タングステン電極の高い融点とジルコニアの保護効果により、高温プラズマ環境でも先端形状を維持し、燃え尽きによる損傷を軽減します。WZ8 電極は、純粋なタングステン電極よりも最大 2~3 倍長持ちするため、製造コストが削減されます。

耐汚染性: プラズマ切断中に、金属蒸気や酸化物が電極先端を汚染する可能性があります。ジルコニウムタングステン電極の化学的安定性により、表面が汚染物質の影響を受けにくくなり、プラズマアークの安定性が維持されます。

### 応用例:

造船業: ジルコニウム タングステン電極は、船体鋼板 (AH36、DH36 など、厚さ 30-50 mm) の切断に使用され、高精度で効率的な生産を保証します。たとえば、現代重工業の造船所ではプラズマ切断に WZ8 電極を使用し、切断速度と品質を向上させています。

自動車製造: 合金 6061 などのアルミニウム ボディ部品のプラズマ切断には高精度が要求され、ジルコニウム タングステン電極 (WZ3) は低電流から中電流 (100-200 A) で安定したアークを提供します。

建設業: ジルコニウム タングステン電極は鉄骨構造の梁や柱の切断に使用され、滑らかな切断面を確保し、その後の加工を軽減します。

### プロセスパラメータ:

電流タイプ:直流(DCEN)。

電流範囲:100~500 A、材料の厚さと機器の調整によって異なります。

### 著作権および法的責任に関する声明

電極径:2.4~4.0 mm。

シールドガス:アルゴン、窒素、またはアルゴンと水素の混合物(95%アルゴン+5%水素)、  
流量 20~30 L/min。

ノズル設計:ジルコニウム タングステン電極は、プラズマ アーク濃度を確保するために、  
耐熱性の高いノズル (ジルコニア セラミックなど) と組み合わせる必要があります。

#### プラズマ溶射

プラズマ溶射は、粉末材料(ジルコニア、アルミナなど)を高温プラズマアーク(温度 10,000  
~20,000°C)を介して基板表面に溶かしてスプレーし、耐摩耗性、高温性、または耐食性の  
コーティングを形成し、航空エンジン、ガスタービン、医療用インプラント製造で広く使  
用されています。ジルコニウム タングステン電極はプラズマ溶射の陰極として機能し、  
次のような性能上の利点を備えた安定したプラズマ アークを提供します。

アーク安定性: WZ8 電極は、大電流 (300~600 A) で均一なプラズマ アークを形成でき、  
一貫したコーティング厚さ (通常 0.1~1 mm) と均一な構造を保証します。

耐燃焼性: ジルコニウム タングステン電極は、高温プラズマ環境での長時間の動作に耐  
えることができ、チップの焼損と電極交換の頻度を減らします。たとえば、WZ8 電極は  
連続スプレーで 100 時間以上持続します。

耐汚染性: プラズマ溶射では、ジルコニア粒子などの粉末材料が電極先端に付着する場  
合があります。ジルコニウムタングステン電極の表面仕上げと化学的安定性は、汚染の影響  
を軽減し、スプレー品質を維持します。

#### 応用例:

航空宇宙: ジルコニウム タングステン電極は、タービン ブレードの表面にセラミック  
コーティング (ジルコニアなど) をスプレーして高温耐性を向上させるために使用され  
ます。たとえば、GE 航空エンジンのターボ ブレード スプレーでは、コーティングの均  
一性と耐久性を確保するために WZ8 電極が使用されています。

エネルギー産業: ジルコニウム タングステン電極は、ボイラー パイプやガスタービンの  
コンポーネントに耐摩耗性コーティングをスプレーし、機器の寿命を延ばすために使用さ  
れます。

医療産業: ジルコニウム タングステン電極は、生体適合性コーティング (ヒドロキシア  
パタイトなど) を整形外科用インプラントの表面にスプレーするために使用され、耐食性  
と生体適合性が向上します。

#### プロセスパラメータ:

電流タイプ:直流(DCEN)。

電流範囲:300~600 A。

#### 著作権および法的責任に関する声明

電極径:3.2~4.8 mm。

シールドガス:アルゴンまたはアルゴンヘリウム混合物(70%アルゴン+30%ヘリウム)、流量 30~50 L/min。

粉末材料:ジルコニア、アルミナ、または粒子サイズが 20~100 $\mu$ m の金属合金粉末。

ジルコニウムタングステン電極はプラズマ切断および溶射における優れた性能により、高強度・高精度プロセスに不可欠な材料となり、関連産業の技術進歩と効率向上を推進しています。

### 7.3 ジルコニウムタングステン電極のその他の産業用途

ジルコニウムタングステン電極の用途は、TIG 溶接やプラズマプロセスに限定されず、航空宇宙、原子力産業、医療機器製造などのハイテク分野でも重要な役割を果たしています。これらの分野では非常に高い性能要件があり、ジルコニウム タングステン電極は、その高い信頼性、耐燃焼損性、汚染防止機能により広く使用されています。

#### 7.3.1 航空宇宙

航空宇宙分野では、高強度、軽量の材料（アルミニウム合金、マグネシウム合金、チタン合金など）や複雑な構造（航空機の胴体、エンジン部品など）を含む、材料と溶接プロセスに対して非常に厳しい要件があります。ジルコニウム タングステン電極は、航空宇宙分野の TIG 溶接やプラズマ溶射に重要な用途があり、次のような利点があります。

高精度溶接: 航空宇宙部品（ボーイング 787 のアルミニウム合金胴体やエアバス A350 のマグネシウム合金構造部品など）には、欠陥のない溶接と高強度が求められます。ジルコニウムタングステン電極 (WZ8) は、AC TIG 溶接において安定したアーク放電と汚染防止能力を提供し、溶接品質を保証します。たとえば、ボーイング 737 の翼アルミニウム合金スキン溶接では、WZ8 電極は大電流 (200~300A) に耐え、アーク安定性を維持できます。

プラズマ溶射: 航空エンジンのタービンブレードには、高温耐性のあるセラミックコーティング(ジルコニアや酸化イットリウムなど)を溶射する必要があり、ジルコニウムタングステン電極はプラズマ溶射で安定したプラズマアークを提供し、コーティングの均一性と接着性を確保します。たとえば、ロールスロイストレント XWB エンジンのブレードスプレーは、WZ8 電極を広く使用しています。

軽量材料: マグネシウムとアルミニウムの合金は航空宇宙分野でますます使用されており、ジルコニウム タングステン電極の汚染防止機能とアーク制御特性により、これらの材料の溶接に優れています。たとえば、SpaceX の Starship ロケットはマグネシウム合金構造部品を使用しており、ジルコニウム タングステン電極は TIG 溶接における高品質の溶接を保証します。

#### 著作権および法的責任に関する声明

#### 応用例:

航空機製造: ジルコニウム タングステン電極は、ボーイングおよびエアバス航空機のアルミニウム合金胴体および翼の溶接に使用され、構造強度と耐食性を確保しています。

ロケット製造: ジルコニウム タングステン電極は、SpaceX および Blue Origin のロケット部品の溶接に広く使用されており、高い信頼性と軽量の要件を満たしています。

衛星製造: ジルコニウム タングステン電極は、衛星のマグネシウム合金フレームとプラズマ スプレー アンテナ リフレクターのセラミック コーティングの溶接に使用されます。

### 7.3.2 原子力産業

原子力産業は、高温、高放射線、高腐食性環境を含む、材料と溶接プロセスに非常に高い要求を課しています。ジルコニウム タングステン電極は、原子炉コンポーネントの溶接およびプラズマ溶射に重要な用途があり、その利点は次のとおりです。

耐食性: 原子炉の圧力容器やパイプラインにはステンレス鋼またはジルコニウム合金が使用されることが多く、ジルコニウム タングステン電極は腐食環境での酸化物汚染に耐え、TIG 溶接におけるアーク安定性を維持できます。たとえば、WZ8 電極は、316L ステンレス鋼圧力容器の溶接において高品質の溶接を提供します。

高い信頼性: 原子力産業では溶接部に欠陥や亀裂が不要であり、ジルコニウム タングステン電極のアーク安定性と耐燃焼損性はこれらの要件を満たしています。

プラズマ溶射: 原子炉のシールド材や高温部品はセラミックコーティングでコーティングする必要があり、ジルコニウムタングステン電極はプラズマ溶射におけるコーティングの均一性と耐久性を保証します。

#### 応用例:

原子炉コンポーネント: ジルコニウム タングステン電極は、原子炉のジルコニウム合金燃料棒ハウジングとステンレス鋼冷却パイプの溶接に使用され、長期的な信頼性を確保します。

シールド材料: ジルコニウム タングステン電極は、原子炉用のセラミック シールド コーティングを作成するためにプラズマ溶射に使用され、高温耐性と耐放射線性を向上させます。

核廃棄物の取り扱い: ジルコニウム タングステン電極は、核廃棄物貯蔵容器のステンレス鋼ケーシングの溶接に使用され、気密性と耐食性を確保します。

### 7.3.3 医療機器製造

医療機器の製造では、高精度、汚染フリー、生体適合性など、溶接プロセスに厳しい要求が課せられます。ジルコニウム タングステン電極は、医療機器製造における TIG 溶接およびプラズマ溶射に優れており、次のような利点があります。

高精度溶接: 医療機器 (手術器具、インプラントなど) では 316L ステンレス鋼またはチタン合金が使用されることが多く、ジルコニウム タングステン電極 (WZ3) はシート溶

#### 著作権および法的責任に関する声明

接において安定したアーク放電とスパッタのない溶接を提供し、滑らかな表面と衛生基準を保証します。たとえば、ペースメーカーのチタンハウジングは WZ3 電極で溶接されています。

汚染防止能力:医療機器の溶接では、溶接部に不純物や酸化物が含まれていない必要があり、ジルコニウムタングステン電極の汚染防止能力は汚染物質による溶接部の汚染を回避し、厳格な医療基準を満たしています。

プラズマ溶射:ジルコニウム タングステン電極は、整形外科用インプラント用の生体適合性コーティング (ヒドロキシアパタイトなど) をスプレーするために使用され、コーティングの均一性と生体適合性を確保します。たとえば、股関節インプラントのスプレープロセスでは、WZ8 電極が使用されます。

### 応用例:

手術器具:ジルコニウム タングステン電極は、ステンレス鋼のメスや鉗子の溶接に使用され、滑らかで無毒な溶接を保証します。

インプラント:ジルコニウム タングステン電極は、チタン骨インプラントの溶接およびプラズマ溶射において高い精度と信頼性を提供します。

診断装置:ジルコニウム タングステン電極は、X 線装置や CT スキャナーのステンレス鋼ハウジング溶接に使用され、構造強度と耐食性を確保します。

### 7.4 特殊環境におけるジルコニウムタングステン電極の応用

高湿度、高温、高放射線、腐食性ガスを含む環境などの特殊な環境でのジルコニウム タングステン電極の適用は、その優れた適応性と信頼性を実証します。これらの環境では、電極の汚染防止、焼損防止、化学的安定性により高い要求が課せられます。

高湿度環境: 海洋工学および造船では、溶接環境に高湿度 (>80%) と塩水噴霧が発生する可能性があります。ジルコニウム タングステン電極の耐汚染性と化学的安定性により、これらの環境でもアーク安定性を維持できます。たとえば、WZ8 電極は、海洋プラットフォーム上のアルミニウム合金構造物の TIG 溶接に優れており、海水塩水噴霧による腐食に耐性があります。

高温環境: プラズマ切断および溶射における高温環境 (>10,000°C) では、電極の焼損に対する耐性に非常に高い要求が課せられます。ジルコニウムタングステン電極(WZ8)のジルコニア保護層は、チップの焼損を効果的に減らし、耐用年数を延ばすことができます。たとえば、ガスタービンプレードの噴霧では、WZ8 電極は高温プラズマアークで 100 時間以上動作します。

高放射線環境: 原子力産業における溶接および溶射プロセスには高放射線環境が含まれる場合があります。ジルコニウム タングステン電極は非放射能で信頼性が高いため、理想的な選択肢となります。たとえば、WZ8 電極は、原子炉のシールド材の噴霧における放射線環境の影響に耐えることができます。

腐食性ガス環境: 化学産業における溶接には、塩素含有または硫化物を含む環境が含まれる場合があります。ジルコニウム タングステン電極の化学的安定性により、腐食性ガスに対する耐性が得られます。たとえば、WZ3 電極は、塩素パイプのステンレス鋼溶接において安定したアーク性能を維持します。

#### 著作権および法的責任に関する声明

### プロセスの最適化:

保護ガス:特殊な環境では、電極保護を強化するために、高純度のアルゴンまたはアルゴンとヘリウムの混合物(流量 15~25 L/min)を使用してください。

電極の選択:WZ8 は大電流、高強度の環境に好まれ、WZ3 は低電流または薄板溶接に選択されます。

チップ設計:特殊な環境では、鈍角チップ(45°~60°)を使用してアークの安定性を向上させることができます。

特殊な環境におけるジルコニウム タングステン電極の優れた性能により、極端な条件下での産業用途ではかけがえのないものになります。

### 7.5 ジルコニウムタングステン電極の代替品と競合分析

ジルコニウム タングステン電極は TIG 溶接およびプラズマ プロセスにおいて大きな利点をもたらしますが、他のタイプのタングステン電極や代替材料も特定のシナリオで競合します。以下は、ジルコニウムタングステン電極の代替品、その長所と短所、および市場競争状況の分析です。

#### 代替分析

##### 純タングステン電極(WP)

利点: 純タングステン電極は非ドーピング、非放射性であり、化学的安定性が高いため、低電流直流 (DC) 溶接に適しています。

短所:アーク安定性が低く、点火性能が弱く、先端の焼損が深刻で、AC 溶接の寿命が短い。純粋なタングステン電極は、アルミニウム合金溶接においてジルコニウムタングステン電極よりもはるかに劣ります。

適用可能なシナリオ: 低電流 DC 溶接 (小型ステンレス鋼部品など)、高精度溶接や AC 溶接には適していません。

##### トリウム タングステン電極(WT20、1.5%~2.0%の ThO<sub>2</sub>を含む)。

利点:優れた点火性能、優れたアーク安定性、DC 溶接に適しており、炭素鋼およびステンレス鋼の溶接に広く使用されています。

短所: 酸化トリウムはわずかに放射性であり、健康と環境に潜在的なリスクをもたらします。AC 溶接では、アーク濃度はジルコニウムタングステン電極ほど良くありません。

適用可能なシナリオ: DC 溶接高張力鋼ですが、環境保護要件が厳しい地域では徐々に置き換えられます。

##### セリウム タングステン電極(WC20、2.0%CeO<sub>2</sub>を含む)

利点:優れた着火性能、非放射能、低電流 DC および AC 溶接に適しており、低コストです。

短所:大電流 AC 溶接では、アークの安定性はジルコニウムタングステン電極よりもわず

#### 著作権および法的責任に関する声明

かに劣り、耐用年数が短くなります。

用途: コスト重視の用途に適した中小規模の溶接作業。

#### ランタンタングステン電極(WL15、WL20、1.0%–2.0%La<sub>2</sub>O<sub>3</sub>を含む)

利点:優れた点火性能、長寿命、DC および AC 溶接に適しており、強力な総合性能を備えています。

短所:大電流 AC 溶接では、アーク濃度はジルコニウムタングステン電極よりもわずかに劣り、コストが高くなります。

適用可能なシナリオ: 一般的な溶接作業、特に DC 溶接における優れた性能。

#### 新しい 複合電極

説明: 近年、科学研究機関は、さまざまな電極の利点を組み合わせることを目的として、複数の酸化物(La<sub>2</sub>O<sub>3</sub> + CeO<sub>2</sub> + ZrO<sub>2</sub>など)をドーブした複合タングステン電極を開発しました。

利点: 優れた全体的なパフォーマンスにより、特定のシナリオではジルコニウム タングステン電極を超える可能性があります。

短所:生産工程が複雑で、コストが高く、大規模な工業化はまだ達成されていません。

適用可能なシナリオ: 実験用途またはハイエンドのカスタマイズされた溶接。

#### 競合分析

市場でのポジショニング:ジルコニウムタングステン電極は、AC TIG 溶接(特にアルミニウムとマグネシウム合金の溶接)およびプラズマプロセスにおいて独自の利点があり、高精度溶接の分野で高い市場シェアを持っています。WZ8 電極は航空宇宙産業や原子力産業では事実上かけがえのないものですが、WZ3 電極は費用対効果が高いため中小企業で広く使用されています。

環境保護の動向:環境規制(EU REACH 規制など)の強化に伴い、放射能の問題により、トリウムタングステン電極は徐々にジルコニウムタングステン電極とセリウムタングステン電極に置き換えられています。ジルコニウムタングステン電極の非放射能および耐汚染能力により、ヨーロッパおよびアメリカ市場での競争力が高まります。

コストとパフォーマンス:ジルコニウムタングステン電極のコストは、純粋なタングステン電極やセリウムタングステン電極よりも高くなりますが、ランタンタングステン電極や新しい複合電極よりも低くなります。その性能/コスト比は、高精度の AC 溶接では有利ですが、低電流 DC 溶接ではセリウムタングステンまたはランタンタングステン電極に置き換えることができます。

技術の進歩: ジルコニウム タングステン電極の競争圧力は、新しい複合電極とナノテクノロジーの開発によるところもあります。たとえば、ナノスケールのジルコニアをドーブしたジルコニウム タングステン電極は開発中であり、性能がさらに向上する可能性があります。コストを最適化する必要があります。

地域差: 北米とヨーロッパでは、ジルコニウム タングステン電極が環境への優しさと高性能により優勢です。中国やアジアの他の地域では、セリウムタングステン電極は低コストであるため一定の市場シェアを持っていますが、ジルコニウムタングステン電極は依然としてハイエンド用途で支配的です。

#### 著作権および法的責任に関する声明

## 今後の動向

性能の最適化: ナノドーピングおよび化合物ドーピング技術を使用して、ジルコニウム タングステン電極のアーキ安定性と寿命を向上させ、大電流や特殊環境での競争力を強化します。

グリーン製造: ジルコニウム タングステン電極の製造におけるグリーン技術とスクラップのリサイクルにより、市場の魅力がさらに高まります。

新たなアプリケーション: 新しいエネルギー源 (風力エネルギー、太陽光発電設備) と 3D プリンティング技術の開発により、これらの分野でのジルコニウム タングステン電極の潜在的な用途により、市場競争力が高まります。

代替課題: 新しい複合電極と非タンングステンベースの電極(炭素ベースの電極など)の開発は、ジルコニウムタンングステン電極の長期的な競争を形成する可能性があります。しかし、ジルコニウムタンングステン電極は、短期的には高精度 AC 溶接の最初の選択肢であり続けます。

ジルコニウム タングステン電極は、AC 溶接およびプラズマ プロセスにおける独自の利点により、高精度産業分野で重要な位置を占めています。代替品との競争に直面していますが、性能、環境への配慮、コストのバランスにより、将来的にも競争力が維持されます。



### 著作権および法的責任に関する声明

CTIA GROUP LTD

Zirconium Tungsten Electrode Introduction

1. Overview of Zirconium Tungsten Electrode

Zirconium tungsten electrode is a non-radioactive welding electrode made by doping a small amount of zirconium oxide (ZrO<sub>2</sub>) into a high-purity tungsten base. It is specifically optimized for AC TIG (Tungsten Inert Gas) welding. Its excellent arc stability and outstanding resistance to contamination make it the preferred choice for welding aluminum, magnesium, and their alloys.

2. Types of Zirconium Tungsten Electrode

Grade	Tip Color	ZrO <sub>2</sub> Content (wt.%)	Characteristics & Applications
WZ3	Brown	0.2-0.4	Ideal for low to medium intensity AC welding; cost-effective
WZ38	White	0.7-0.9	Industry-standard grade with excellent overall performance

3. Standard Sizes & Packaging of Zirconium Tungsten Electrode

Diameter (mm)	Length (mm)	Regular Coloring	Packing:
1.0	150 / 175	Black / Gold / Blue	10 pcs/box
1.6	150 / 175	Black / Gold / Blue	10pcs/box
2.0	150 / 175	Black / Gold / Blue	10pcs/box
2.4	150 / 175	Black / Gold / Blue	10pcs/box
3.2	150 / 175	Black / Gold / Blue	10pcs/box
4.0	150 / 175	Black / Gold / Blue	10pcs/box
Remark	The sizes can be customized		

4. Applications of Zirconium Tungsten Electrode

- Welding of aluminum and aluminum alloys: such as doors, windows, frames, and automotive body structures
- Welding of magnesium and magnesium alloys: widely used in aerospace lightweight components
- AC welding of stainless steel (under specific low-current conditions)
- Precision welding in aerospace, rail transit, pressure vessels, etc.
- Used in automated welding systems and robotic torch assemblies

5. Procurement Information

Email: sales@chinatungsten.com  
Phone: +86 592 5129595; 592 5129696  
Website: www.tungsten.com.cn

著作権および法的責任に関する声明

## 第 8 章ジルコニウムタングステン電極の製造設備

ジルコニウムタングステン電極の製造は、原材料の加工から完成品の加工まで、複数の側面を含む高精度でハイテクなプロセスです。生産設備の性能は、ジルコニウムタングステン電極の品質、性能の一貫性、生産効率に直接影響します。この章では、原材料加工装置、プレス成形装置、焼結および熱処理装置、精密加工装置、品質試験装置、および機器のメンテナンスと最適化のための技術ポイントなど、ジルコニウムタングステン電極の製造に使用されるさまざまなタイプの装置について詳しく説明します。各タイプの機器の設計、機能、および操作要件は、ジルコニウムタングステン電極の製造要件と併せて分析され、包括的な技術参考資料が提供されます。

### 8.1 ジルコニウムタングステン電極の原料加工装置

原料処理は、ジルコニウムタングステン電極の製造における最初のステップであり、高純度タングステン粉末とジルコニア( $ZrO_2$ )粉末の粉砕、混合、スクリーニング、等級付けが含まれます。原料加工装置は、ジルコニウムタングステン電極(WZ3 や WZ8 など)の厳しい化学組成要件を満たすために、均一な粒子サイズ、高いドーピング均一性を確保し、不純物汚染を回避する必要があります。

#### 8.1.1 粉砕および混合装置

##### 研削装置

粉砕装置は、タングステン粉末とジルコニア粉末の粒度を微細化し、その形態と粒度分布を最適化して、その後の混合および焼結結果を改善するために使用されます。一般的な研削装置には次のものがあります。

遊星ボールミル: 遊星ボールミルは、ジルコニアボールやタングステンボールなどの高速回転粉砕タンクと粉砕ボールによる粉末精製を可能にします。機器の特徴は次のとおりです。

容量:10~100 L、小中ロット生産に適しています。

回転速度:200~600 rpm、粉砕強度を制御するために調整可能。

研磨媒体:ジルコニアボール(直径 2~10 mm)またはタングステンボールを使用して、汚染を低減します。

冷却システム:粉砕中の粉末の過熱を防ぐための水冷または空冷システムを装備していません(温度制御<50°C)。

用途:タングステン粉末の粒子サイズは 10~20  $\mu\text{m}$  から 3~5  $\mu\text{m}$ 、ジルコニアは 1~2  $\mu\text{m}$  から 0.1~0.5  $\mu\text{m}$  です。

気流ミル: 高速気流 (通常は圧縮空気または窒素) を使用して粉末粒子同士を衝突させ、超微粉砕を実現します。機器の特徴は次のとおりです。

#### 著作権および法的責任に関する声明

粒度制御:粉末をサブミクロンレベル(<1 $\mu$ m)まで精製することができ、ナノスケールのジルコニアの調製に適しています。

無公害: 研磨媒体を使用しないため、不純物の侵入が減少します。

効率:最大 1~10kg のシングルスループットで、大量生産に適しています。

振動ボールミル:粉末粉碎は高周波振動によって実現され、小ロットの実験生産に適しています。装置の特徴としては、低エネルギー消費と操作の容易さが含まれますが、粉碎効率は遊星ボールミルよりも低くなります。

粉碎装置の選択は、生産規模と粉末粒度の要件に応じて決定する必要があります。たとえば、ハイエンドのジルコニウム タングステン電極製造 (WZ8 など) では、ナノスケールのジルコニア粉碎を実現するためにエアフロー ミルを使用する傾向がありますが、中小規模の生産では遊星ボール ミルを使用できます。

#### 攪拌装置

混合装置は、ドーピングの均一性を確保するために、タングステン粉末とジルコニア粉末を比例して混合するために使用されます(たとえば、WZ3 の場合は 0.3%ZrO<sub>2</sub>、WZ8 の場合は 0.8%ZrO<sub>2</sub>)。一般的な混合装置には次のものがあります。

V ミキサー:V 字型容器を回転させることで粉末混合が実現され、ドライドーピングに適しています。機器の特徴は次のとおりです。

容量:50~500 L、中規模から大規模の生産に適しています。

混合時間:2~4 時間、混合均一性>99%。

雰囲気制御:粉末の酸化を防ぐための不活性ガス(アルゴンなど)保護システムを装備しています。

高速ミキサー:粉末混合は、乾式および湿式ドーピングに適した高速混合パドル(500~1000 rpm)によって実現されます。機器の特徴は次のとおりです。

効率的な混合:混合時間は 1~2 時間で、高い均一性があります。

液体媒体:脱イオン水またはエタノールを加えて湿式混合することができ、噴霧乾燥装置が必要です。

超音波分散機:湿式ドーピングに使用され、超音波振動(周波数 20~40 kHz)によって液体媒体中にタングステン粉末とジルコニアを分散させます。機器の特徴は次のとおりです。  
高い均一性:ナノスケールのジルコニアの混合に適しています。

小ロット生産: 通常、スループット< 10 kg で、ハイエンドの電極生産に適しています。

#### 著作権および法的責任に関する声明

ジルコニア比が目標グレードを満たしていることを確認するために、混合装置には正確な計量システム（精度 $\pm 0.001$  g の電子天びんなど）を装備する必要があります。最新の混合装置には、混合パラメータをリアルタイムで監視するために PLC（プログラマブル ロジック コントローラー）システムが統合されていることがよくあります。

### 8.1.2 スクリーニングおよびグレーディング装置

スクリーニングおよび等級付け装置は、粉末の粒度分布を制御し、特大または小さな粒子を除去し、原材料が生産要件を満たしていることを確認するために使用されます。一般的に使用される機器には次のものがあります。

振動スクリーン:粉末は、高周波振動(1000~3000 回/分)によって粒子サイズによって等級分けされます。機器の特徴は次のとおりです。

ふるいサイズ:10-50  $\mu\text{m}$ 、タングステン粉末(3-5  $\mu\text{m}$ )とジルコニア(0.1-1  $\mu\text{m}$ )の等級付けに適しています。

処理能力:0.5~5 kg / min、大量生産に適しています。

ブロッキング防止設計:スクリーン穴の目詰まりを防ぐ超音波ネット洗浄装置を装備。

気流分級機:気流を利用して粉末を粒子サイズ別に分離し、ナノスケールジルコニアなどの超微粉末の分類に適しています。機器の特徴は次のとおりです。

等級付け精度:0.1~10 $\mu\text{m}$  の粒子を 0.1 $\mu\text{m}$ ±精度で分離できます。

汚染なし:酸化を避けるために、不活性ガス(窒素など)を等級付け媒体として使用します。

自動化:自動回収システムを搭載し、生産効率を向上させます。

遠心分級機:粉末の等級付けは遠心力によって実現され、小ロットの高精度生産に適しています。装置の特徴には、高いグレーディング精度と低いスループット(<1 kg/min)が含まれます。

スクリーニングおよびグレーディング装置は、粒度分布が標準に達していることを確認するために定期的に校正する必要があります(たとえば、タングステン粉末 D50 の場合は 3~5  $\mu\text{m}$ 、ジルコニア D50 の場合は 0.1~0.5  $\mu\text{m}$ )。最新の機器には、グレーディング効果をリアルタイムで監視するためにレーザー粒度分析装置が組み込まれていることがよくあります。

## 8.2 ジルコニウムタングステン電極のプレス成形装置

プレス成形装置は、混合粉末をブランクにプレスするために使用され、その後の焼結と加工の基礎となります。装置の性能は、ピレットの密度、強度、一貫性に直接影響します。

### 8.2.1 油圧プレスと静水圧プレス

作動油

プレスは、少量生産や大口径ピレットに適した硬質ダイスを通して粉末を円筒形のピレッ

#### 著作権および法的責任に関する声明

トにプレスします。機器の特徴は次のとおりです。

圧力範囲:50〜100MPa、ピレット密度(理論密度 50%〜60%)を制御するために調整可能。

金型材質:超硬または高張力鋼、高耐摩耗性。

生産性:1 回のプレス時間で 10〜30 秒、直径 10〜20mm のピレットに適しています。

制御システム:圧力と保持時間を正確に制御する PLC システムを搭載。

用途:非標準サイズの電極や実験用ブランクの製造に適しています。

油圧プレス  
油圧プレスの限界は、ピレットの密度分布が不均一であるため、単純な形状のプレスに適していることです。

冷間静水圧プレス (CIP)  
冷間静水圧プレスは、水や油などの液体媒体に均一に適用され、ジルコニウム タングステン電極の製造に広く使用されている高密度で均一なピレットを形成します。機器の特徴は次のとおりです。

圧力範囲:100〜200 MPa、ピレット密度は理論密度 60%〜70%まで。

金型設計: 均一な圧力分布を確保するための柔軟な金型 (ゴムやポリウレタンなど)。

スループット:複数のピレット(直径 10〜20 mm、長さ 100〜300 mm)を 1 回のパスでプレスできます。

自動化:自動積み下ろしシステムを搭載し、生産効率を向上させます。

用途:高精度ジルコニウムタングステン電極ブランクの大量生産に適しています。

冷間静水圧プレスの利点は、ピレットの密度が均一であり、焼結プロセス中の気孔率と亀裂が減少することにあります。最新の静水圧プレスには、圧力センサーとデータ収集システムが統合されていることが多く、プレス効果をリアルタイムで監視します。

### 8.2.2 金型の設計と製造

金型はプレス成形装置の中核部品であり、その設計と製造はピレットの品質に直接影響します。金型設計では、次の要素を考慮する必要があります。

材料の選択: 金型は通常、超硬 (WC-Co など) または高張力鋼で作られており、硬度は > 60 HRC で、耐摩耗性と耐食性に優れています。

寸法精度: 金型の内径の公差 $\pm 0.01$  mm で、一貫したピレット直径 (10–20 mm) を保証します。

表面仕上げ:金型の内面粗さは  $Ra < 0.2\mu\text{m}$  で、ピレットの表面欠陥を低減します。

構造設計:金型には、メンテナンスを容易にするために分解および洗浄機能が必要です。

冷間静水圧金型は、均一な圧力伝達を確保するためにゴムなどの柔軟な材料を使用します。

#### 著作権および法的責任に関する声明

金型製造では、高精度と複雑な形状の実現を保証するために、CNC 加工（5 軸 CNC マシンなど）と放電加工（EDM）が採用されています。最新の金型設計では、プレス中の応力分布をシミュレートし、金型構造を最適化するために有限要素解析（FEA）も導入されています。

### 8.3 ジルコニウムタングステン電極の焼結および熱処理装置

焼結および熱処理装置は、プレスされたブランクを緻密な電極ブランクに変換し、内部応力を除去し、微細構造を最適化するために使用されます。デバイスの性能は、電極の密度、粒径、性能安定性に直接影響します。

#### 8.3.1 高温焼結炉

高温焼結炉は、ジルコニウムタングステン電極を製造するためのコア装置であり、1800～2200°C でピレットを焼結するために使用され、タングステン粒子が結合して安定したジルコニア分散相を形成できます。一般的に使用される焼結炉には次のようなものがあります。

##### 真空焼結炉

特徴:タングステンの酸化を防ぐための真空度 $<10^{-3}$  Pa。温度範囲は 1800～2200°C、精度は 5°C±。

発熱体:モリブデンまたはグラファイト発熱体、優れた耐高温性。

焼結能力:1 つの炉で 10～100kg、中規模から大規模の生産に適しています。

制御システム:PLC と赤外線温度計を装備し、温度と真空をリアルタイムで監視します。

用途:低酸素含有量( $<0.005\%$ )を確保するために、高純度ジルコニウムタングステン電極（WZ8 など）の製造に適しています。

##### 水素焼結炉

特徴:保護雰囲気として高純度水素( $>99.999\%$ )を使用し、流量 10～50 L / min。温度範囲は 1800～2100°C です。

還元特性:水素はピレットから酸素と揮発性不純物を効果的に除去します。

安全設計:水素漏れ検知と自動排気システムを搭載し、安全な操作を保証します。

用途:大量生産に適しており、真空焼結よりもコストが低くなります。

##### マイクロ波焼結炉

特徴:マイクロ波加熱(周波数 2.45GHz)による高速で均一な焼結で、焼結時間は 2～4 時間、

省エネは 30%～40%。

利点:結晶粒成長の低減、微細構造の最適化(結晶粒サイズ 10～20  $\mu\text{m}$ )。

#### 著作権および法的責任に関する声明

制限事項: 設備コストが高く、ハイエンドの電極製造に適しています。

焼結炉には、焼結密度が理論密度 95%~98%に達し、気孔率が 0.5%<るように、精密な温度制御システム(誤差 $\pm 10^{\circ}\text{C}$ )と雰囲気制御システムを装備する必要があります。

### 8.3.2 真空熱処理炉

真空熱処理炉は、プレスや焼結中の内部応力を除去し、電極の結晶構造と機械的特性を最適化するために使用されます。

機器の特徴は次のとおりです。

温度範囲:1200~1600°C、精度 $\pm 5^{\circ}\text{C}$ 。

真空レベル:電極の酸化を防ぐための $<10^{-2}\text{ Pa}$ 。

発熱体:モリブデンまたはタングステン線、優れた耐高温性。

冷却システム:応力集中を避けるために冷却速度(20~50°C / h)を制御するための水冷または空冷システムが装備されています。

用途:延性と耐破壊性を向上させる焼結ピレットの焼きなましに使用されます。

最新の熱処理炉には、多くの場合、コンピューター制御を通じて正確な加熱、保持、冷却プロファイルを実現するために、多段温度制御プログラムが組み込まれています。一部のハイエンド機器には、ピレットの応力や微細構造の変化をリアルタイムで検出するオンライン監視システムも装備されています。

## 8.4 ジルコニウムタングステン電極の精密加工装置

精密加工装置は、焼結ブランクを絞り、切断、表面研磨などの仕様を満たす電極棒に加工するために使用されます。装置の精度と安定性は、電極の寸法公差と表面品質に直接影響します。

### 8.4.1 伸線機と切断機

引っ張り機

伸線機は、焼結ピレットを一連の金型を通して細長い電極棒(直径 1.0~6.4 mm)に引き伸ばします。機器の特徴は次のとおりです。

引っ張り速度:0.1~1 m / min、サーボモーター制御、精度 $\pm 0.01\text{ m / min}$ 。

金型材質:超硬またはダイヤモンド、硬度 $>60\text{HRC}$ 、強力な耐摩耗性。

パス設計:10~20 パス、毎回直径を 5%~10%縮小します。

潤滑システム:グラファイトまたは二硫化モリブデン潤滑剤噴霧装置を装備し、表面の傷を軽減します。

#### 著作権および法的責任に関する声明

用途:ピレットの直径を 10~20 mm から 1.0~6.4 mm に、公差 $\pm 0.05$  mm に減らします。

最新の絞り機は CNC システムを使用して引っ張り速度と張力を自動的に調整し、微小亀裂や表面欠陥を軽減します。

カッター

切断機は、引き抜かれた電極棒を標準長(例:150 mm、175 mm)に切断するために使用されます。一般的に使用される機器には次のものがあります。

ワイヤー放電加工:0.1mm $\pm$ 精度の放電加工による切断で、高精度の要件に適しています。

レーザーカッター:高出力レーザー(出力 1~5kW)を使用し、高速(0.5~2m/min)と高い表面仕上げ( $Ra < 0.8\mu\text{m}$ )を実現します。

冷却システム:電極の過熱を防ぐため、水冷または油冷を装備しています。

アプリケーション:TIG 溶接およびプラズマ切断のニーズに合わせて、電極ロッドを標準長さに切断します。

#### 8.4.2 表面研磨装置

表面研磨装置は、電極表面の仕上げ( $Ra < 0.4\mu\text{m}$ )を改善し、汚染物質の付着とアークドリフトを低減するために使用されます。一般的に使用される機器には次のものがあります。

回転研磨機: 表面研磨は、研磨ホイール (1000~3000 rpm) と研磨媒体 (アルミナやダイヤモンド懸濁液など) を回転させることによって実現されます。機器の特徴は次のとおりです。

研磨精度:表面粗さ  $Ra < 0.4\mu\text{m}$ 。

自動化:100~500 スレッド/時間のスループットを持つ自動送りシステムを装備。

用途:大量の電極研磨に適しています。

電気化学研磨機:電気化学反応により電極表面の微小な欠陥を除去し、高精度の電極に適しています。機器の特徴は次のとおりです。

研磨液:リン酸または硫酸塩ベースの電解質、汚染を減らすための環境に優しい配合。

研磨時間:10~30 秒/個、高効率。

表面品質: $Ra < 0.2\mu\text{m}$ 、鏡面効果に近い。

レーザー研磨機:レーザービーム(出力 500~2000W)を使用して電極表面を平らにし、ハイエンドの電極製造に適しています。装置の特徴は、高精度( $Ra < 0.1\mu\text{m}$ )と非接触加工です。

研磨装置には、研磨プロセス中にタングステン粉末やジルコニア粉塵が環境を汚染するのを防ぐために、集塵システムを装備する必要があります。

#### 著作権および法的責任に関する声明

CTIA GROUP LTD

Zirconium Tungsten Electrode Introduction

1. Overview of Zirconium Tungsten Electrode

Zirconium tungsten electrode is a non-radioactive welding electrode made by doping a small amount of zirconium oxide (ZrO<sub>2</sub>) into a high-purity tungsten base. It is specifically optimized for AC TIG (Tungsten Inert Gas) welding. Its excellent arc stability and outstanding resistance to contamination make it the preferred choice for welding aluminum, magnesium, and their alloys.

2. Types of Zirconium Tungsten Electrode

Grade	Tip Color	ZrO <sub>2</sub> Content (wt.%)	Characteristics & Applications
WZ3	Brown	0.2-0.4	Ideal for low to medium intensity AC welding; cost-effective
WZ38	White	0.7-0.9	Industry-standard grade with excellent overall performance

3. Standard Sizes & Packaging of Zirconium Tungsten Electrode

Diameter (mm)	Length (mm)	Regular Coloring	Packing:
1.0	150 / 175	Black / Gold / Blue	10 pcs/box
1.6	150 / 175	Black / Gold / Blue	10pcs/box
2.0	150 / 175	Black / Gold / Blue	10pcs/box
2.4	150 / 175	Black / Gold / Blue	10pcs/box
3.2	150 / 175	Black / Gold / Blue	10pcs/box
4.0	150 / 175	Black / Gold / Blue	10pcs/box
Remark	The sizes can be customized		

4. Applications of Zirconium Tungsten Electrode

- Welding of aluminum and aluminum alloys: such as doors, windows, frames, and automotive body structures
- Welding of magnesium and magnesium alloys: widely used in aerospace lightweight components
- AC welding of stainless steel (under specific low-current conditions)
- Precision welding in aerospace, rail transit, pressure vessels, etc.
- Used in automated welding systems and robotic torch assemblies

5. Procurement Information

Email: sales@chinatungsten.com  
Phone: +86 592 5129595; 592 5129696  
Website: www.tungsten.com.cn

著作権および法的責任に関する声明

## 8.5 ジルコニウムタングステン電極の品質検査装置

品質検査装置は、ジルコニウム タングステン電極の化学組成、微細構造、寸法精度、および表面品質が国際規格 (ISO 6848、AWS A5.12、GB/T 4187 など) を満たしていることを確認するために使用されます。一般的に使用される機器には次のものがあります。

### 化学組成分析装置

誘導結合プラズマ質量分析法(ICP-MS): タングステン粉末およびジルコニア中の不純物 (Fe、Si、C<0.005%など) を 0.001%±精度で検出します。

蛍光 X 線分光法(XRF): ジルコニア含有量(WZ3 は 0.3%、WZ8 は 0.8%など) を迅速に分析し、オンライン検出に適しています。

### 微細構造解析装置

走査型電子顕微鏡(SEM): 電極の粒径(10~20 $\mu$ m)とジルコニア分布の均一性を分析します。

X 線回折装置(XRD): 結晶構造と相組成を検出し、浮遊相がないことを確認します。

### 寸法検査装置

レーザー距離計: 電極径(公差 $\pm$ 0.05mm)と長さ(公差 $\pm$ 1mm)を測定します。

表面粗さ計: 電極表面粗さ (Ra<0.4 $\mu$ m)を検出します。

### 欠陥検出装置

超音波検出器: ピレットと完成した電極の内部亀裂や細孔を 0.1mm±精度で検出します。

X 線検査装置: 内部欠陥を非破壊で検出し、大量生産に適しています。

最新の試験装置には、多くの場合、データ収集システムが統合され、人工知能アルゴリズムを通じて検出結果を分析し、検出効率と精度が向上します。

## 8.6 ジルコニウムタングステン電極の設備メンテナンスと最適化

機器のメンテナンスと最適化は、定期的なメンテナンス、故障診断、性能の最適化など、生産の継続性と電極品質を確保するための鍵となります。

### 機器のメンテナンス

定期点検: 粉碎、混合、焼結、加工装置の稼働状況を毎月チェックし、センサーや制御システムを校正します。

潤滑と洗浄: 金型と絞り加工機を定期的に洗浄し、摩耗を減らすためにグラファイトなどの潤滑剤を追加します。

部品の交換: 機器の性能を確保するために、摩耗した部品 (焼結炉の発熱体、伸抜機のカンナなど) を定期的に交換します。

安全管理: 水素焼結炉には、安全事故を防ぐために漏れ検出および自動排気システムを装備する必要があります。

### 機器の最適化

自動化のアップグレード: 産業用モノのインターネット (IIoT) および SCADA システムを導入

#### 著作権および法的責任に関する声明

入して、機器の状態と生産データをリアルタイムで監視し、生産効率を10%~20%向上させます。

インテリジェントな変換: 機械学習アルゴリズムを使用して、装置パラメータ (焼結温度、引き抜き速度など) を最適化し、スクラップ率 (<1%) を削減します。

グリーンレトロフィット: 廃熱回収システムと高効率除塵装置を設置して、エネルギー消費と粉塵排出量を削減します (<10mg/m<sup>3</sup>)。

モジュラー設計: モジュラー機器構造を採用しており、メンテナンスやアップグレードが容易で、ダウンタイムが短縮されます。

機器のメンテナンスと最適化の組み合わせにより、ジルコニウムタングステン電極生産ラインの安定した動作と高効率が保証され、高精度の産業用途のニーズに応えます。



著作権および法的責任に関する声明

## 第9章ジルコニウムタングステン電極の国内外規格

タングステン不活性ガスシールド(TIG 溶接)およびプラズマ切断の主要材料として、ジルコニウムタングステン電極は、その性能と品質に関する厳格な国内および国際基準を満たす必要があります。標準化により、ジルコニウムタングステン電極の化学組成、物理的特性、寸法精度、およびアプリケーションの一貫性が保証され、航空宇宙、自動車製造、原子力産業などの高精度分野のニーズに応えます。この章では、ジルコニウムタングステン電極の国際規格(ISO 6848、AWS A5.12 など)および国内規格(GB/T 4187 など)について詳細に説明し、それらの特定の内容と要件を分析し、国内外の規格の類似点と相違点を比較し、規格の更新と開発傾向を楽しみにしています。

### 9.1 ジルコニウムタングステン電極の国際規格

国際規格は、世界貿易や工業生産で広く使用されているジルコニウム タングステン電極の製造、試験、および応用に関する統一された仕様を提供します。主要な国際規格には、国際標準化機構 (ISO) の ISO 6848 や米国溶接協会 (AWS) の AWS A5.12 が含まれます。

#### 9.1.1 ISO 規格(e.g. ISO 6848)

ISO 6848(最新バージョンは ISO 6848:2015、アーク溶接および切断—非消耗性タングステン電極—分類)は、ジルコニウムタングステン電極の国際規格であり、非消耗性タングステン電極の分類、化学組成、性能要件、および試験方法を指定します。この規格は、ジルコニウム タングステン電極 (WZ シリーズ) を含む、TIG 溶接およびプラズマ切断のタングステン電極に適用されます。

#### 標準コンテンツ:

分類:ジルコニウムタングステン電極は、ジルコニア( $ZrO_2$ )含有量に従って分類され、主に WZ3(0.15%~0.4% $ZrO_2$ )および WZ8(0.7%~0.9% $ZrO_2$ )が含まれます。この規格では、純タングステン (WP)、トリウム タングステン (WT)、セリウム タングステン (WC) など、他のタイプのタングステン電極も定義されています。

化学組成:タングステンマトリックス純度(>99.5%)とジルコニア含有量の許容範囲が指定されており、不純物(Fe、Si、C など)の含有量は 0.005%未満に制御する必要があります。

性能要件: アーク安定性、発火性能、耐燃焼性など。ジルコニウム タングステン電極は、交流 (AC) 溶接において優れたアーク濃度と汚染防止能力を示す必要があります。

試験方法: 化学組成分析 (ICP-MS または XRF を使用)、アーク性能試験 (標準溶接条件下での発火電圧とアーク安定性の測定)、および表面品質チェック (表面粗さ  $Ra < 0.8 \mu m$ ) が含まれます。

マーキングと梱包:電極表面にはグレード(WZ8 など)、直径、長さをマークする必要があり、梱包には防湿性と防塵性があり、適合証明書が添付されている必要があります。

アプリケーション:ISO 6848 は、世界中の TIG 溶接およびプラズマ切断、特に航空宇宙、造船、自動車製造などの需要の高いシナリオに適しています。たとえば、ボーイングとエアバスは、ISO 6848 に従ってジルコニウムタングステン電極を使用してアルミニウム合

#### 著作権および法的責任に関する声明

金コンポーネントを溶接しました。

#### 特徴と利点:

世界的な適用性: ISO 6848 は世界中のほとんどの国と地域で認められており、国際貿易と国境を越えた生産を促進します。

厳格な品質管理: この規格では、電極の一貫性と信頼性を確保するために、詳細な化学組成と性能が求められます。

環境志向: 非放射性ジルコニウム タングステン電極の使用を奨励し、トリウム タングステン電極 (WT20) を徐々に置き換えます。

#### 9.1.2 AWS 標準 (AWS A5.12 など)

AWS A5.12 / A5.12M:2009(アーク溶接および切断用のタングステンおよび酸化物分散タングステン電極の仕様)は、米国溶接協会によって開発されたタングステン電極規格であり、北米市場で広く使用されており、ジルコニウムタングステン電極の分類、性能、および試験要件をカバーしています。

#### 標準コンテンツ:

分類:ジルコニウムタングステン電極は、EWZr-1(WZ8、0.7%~0.9%の  $ZrO_2$  を含む)と EWZr-3(WZ3、0.15%~0.4%の  $ZrO_2$  を含む)に分けられます。この規格には、純タングステン (EWP)、トリウム タングステン (EWTh-2)、セリウム タングステン (EWC-2) などの他の電極タイプも含まれています。

化学組成:タングステンマトリックスの純度は  $99.5\%>$ 、ジルコニア含有量の許容範囲は  $\pm 0.05\%$ 、不純物(Fe や Si など)の含有量は  $<0.005\%$ である必要があります。

性能要件: AC 溶接におけるジルコニウム タングステン電極のアーク安定性、耐燃焼性、および汚染防止能力を強調し、特にアルミニウムおよびマグネシウム合金の溶接に適しています。

試験方法:化学組成分析(分光法による)、アーク性能試験(発火電圧 $<50V$ 、アークドリフト率 $<5\%$ )の測定)、表面品質検査( $Ra < 0.8\mu m$ )など。

寸法とマーキング:電極の直径(1.0~6.4 mm)と長さ(75~300 mm)を指定し、表面に AWS 分類コード(EWZr-1 など)を要求します。

アプリケーション:AWS A5.12 は、北米市場、特に自動車製造、航空宇宙、エネルギー産業に幅広い影響力を持っています。たとえば、テスラのアルミニウムボディ溶接とゼネラルエレクトリックのガスタービン部品溶射は、どちらも AWS A5.12 規格に準拠する必要があります。

#### 特徴と利点:

詳細な性能テスト: アーク性能と耐燃焼性の標準的な試験方法はより具体的であるため、高精度の用途に適しています。

地域当局:AWS 標準は北米市場で高く評価されており、現地での生産と認証が容易です。

#### 著作権および法的責任に関する声明

強力な互換性:分類と要件において ISO 6848 との高度な一貫性があり、国際規格の調整に便利です。

## 9.2 ジルコニウムタングステン電極の国内規格

世界最大のタングステン資源国であり、ジルコニウムタングステン電極の生産国として、中国はジルコニウムタングステン電極の製造、試験、および応用をカバーする一連の国内規格を開発しました。主な規格には、国家規格(GB/T 規格)と業界標準、および内部規格が含まれます。

### 9.2.1 GB/T 標準

GB/T 4187-2017(タングステン電極) は、タングステン電極の分類、化学組成、性能要件、および試験方法を規定する中国の国家規格であり、TIG 溶接およびプラズマ切断に適しています。

#### 標準コンテンツ:

分類: ジルコニウム タングステン電極は、他のタイプのタングステン電極 (WT20、WC20 など) とともに、WZ3 (0.15%–0.4% ZrO<sub>2</sub>) と WZ8 (0.7%–0.9% ZrO<sub>2</sub>) に分けられます。

化学組成: タングステンマトリックス純度>99.5%、ジルコニア含有量公差±0.05%、不純物 (Fe、Si、C など)含有量<0.005%。

性能要件: ジルコニウムタングステン電極は、AC 溶接において優れたアーク安定性(アークドリフト率<5%)、点火性能(発火電圧<50 V)、および耐焼損性(寿命は純タングステン電極の 2–3 倍)を備えている必要があります。

試験方法: 化学組成分析 (ICP-MS または XRF)、アーク性能試験 (標準的な AC 溶接装置で実施)、および表面品質検査 (Ra<0.8 μm) が含まれます。

寸法と梱包: 指定された電極の直径(1.0–6.4 mm)と長さ(75–300 mm)、防湿および防塵の梱包が必要で、適合証明書が添付されています。

アプリケーション: GB/T 4187 は、中国の航空宇宙、自動車製造、造船産業、原子力産業で広く使用されています。たとえば、AVIC の航空機部品溶接と CSIC の船体溶接は、この基準を満たす必要があります。

#### 特徴と利点:

中国市場への適応: この規格は、中国のタングステン資源の利点を組み合わせ、生産とテストの要件を最適化し、大規模生産に適しています。

厳格な不純物管理: 不純物含有量の要件は国際規格に準拠しており、電極の品質が保証されています。

環境志向: 環境規制に沿って、トリウム タングステン電極の代わりにジルコニウム タングステン電極の使用を奨励します。

### 9.2.2 業界標準と企業標準

中国は、国家規格に加えて、特定の業界や企業のニーズを満たすために、多くの業界標準や企業規格を開発しています。

#### 著作権および法的責任に関する声明

### 業界標準:

YS/T 231-2016 (タングステン電極の業界標準): 非鉄金属技術経済研究所によって策定され、ジルコニウム タングステン電極の製造プロセスと品質管理要件を改良し、非鉄金属溶接の分野に適しています。

JB/T 4744-2007 (溶接用タングステン電極): 機械工業連合会によって策定され、機械製造におけるジルコニウム タングステン電極の用途を規制することに重点を置き、アーク性能と汚染防止能力を強調しています。

業界標準は多くの場合、GB/T 4187 によって補足され、特定の業界 (航空、船舶など) に対してより具体的な要件を提供します。

### 企業標準:

国内の主要なタングステン電極メーカーは、GB/T 4187 に基づいてさらに改良された社内企業規格 (Q/企業コード) を策定しています。例えば:

化学組成:ジルコニア含有量の許容誤差は $\pm 0.03\%$ 、不純物含有量は  $0.003\%$  である必要があります。

表面品質: ハイエンドの溶接ニーズを満たすには、 $Ra < 0.4 \mu m$  の表面粗さが必要です。

性能試験:汚染防止試験(酸化物含有環境でのアーク安定性試験など)を追加しました。

エンタープライズ基準は通常、ハイエンド市場 (航空宇宙、原子力産業など) のニーズを満たすために、国家基準よりも厳格です。

### 特徴と利点:

柔軟性: 業界および企業の標準は、市場の需要に迅速に対応し、国家標準の欠点を補うことができます。

カスタマイズ: エンタープライズ標準は、特定の顧客や大電流 AC 溶接などのアプリケーション シナリオに合わせて要件を最適化します。

市場競争力:より厳格な基準を通じて製品の品質を向上させ、国際市場での競争力を強化します。

## 9.3 ジルコニウムタングステン電極規格の内容と要件

ジルコニウム タングステン電極の国内および国際規格では、TIG 溶接およびプラズマ切断における性能と一貫性を確保するために、化学組成、物理的特性、寸法公差に関する詳細な要件が提唱されています。以下は、化学組成、物性、寸法公差の3つの側面から分析されます。

### 9.3.1 化学組成要件

化学組成はジルコニウム タングステン電極の品質の中心であり、アーク安定性、発火性能、耐焼損性に直接影響します。化学組成の要件は、主に以下を含む国内外の規格で非常に一貫しています。

### タングステンマトリックス:

純度: $>99.5\%$  (ISO 6848、AWS A5.12、GB/T 4187)、電極の高い融点 (約  $3422^{\circ}C$ ) と化学的安定性を保証します。

#### 著作権および法的責任に関する声明

不純物含有量:鉄(Fe)、ケイ素(Si)、炭素(C)、その他の不純物の総含有量<0.005%)、および個々の不純物<0.002%。不純物が多すぎると、アークの不安定性や電極の焼損が発生する可能性があります。

試験方法: ICP-MS (誘導結合プラズマ質量分析) または XRF (X線蛍光分光法) 検出を使用して、±0.001% の精度を確保します。

#### ジルコニア (ZrO<sub>2</sub>):

WZ3: 低電流から中電流 (50–150 A) の AC 溶接では、0.15%–0.4% (許容誤差 ±0.05%)。

WZ8: 大電流 (150–400 A) AC 溶接の場合、0.7%–0.9% (許容誤差 ±0.05%)。

結晶形状の要件: ジルコニアは、高温安定性を確保するために主に単斜晶系 ZrO<sub>2</sub> です。

試験方法: XRF または化学滴定によってジルコニア含有量を ±0.01% の精度で検証します。

その他の要件:

電極の環境保護を確保するために、放射性物質(酸化トリウムなど)の使用は禁止されています。

電極の酸化や性能低下を避けるために、酸素含有量<0.005%です。

化学組成要件を厳密に管理することで、高精度溶接におけるジルコニウムタングステン電極の信頼性と一貫性が保証されます。

#### 9.3.2 身体的パフォーマンス要件

物理的特性要件は、アーク安定性、発火性能、耐燃焼性、耐汚染性をカバーしており、ジルコニウムタングステン電極の適用効果に直接影響します。物理的特性の標準的な試験方法と指標は次のとおりです。

##### アーク安定性:

要件:アークドリフト率<5%(標準 AC 溶接条件下で電流 150~400 A)。

試験方法:高周波 AC TIG 溶接装置を使用して、アーク形状とドリフト距離を測定します(高速写真またはアークアナライザーによる)。

ジルコニウムタングステン電極の特徴:WZ8 は、大電流 AC 溶接において WZ3 よりもアーク濃度が高く、厚板アルミニウム合金溶接に適しています。WZ3 は薄板溶接に適しており、アーク安定性は純粋なタングステン電極よりも優れています。

##### 点火性能:

要件:点火電圧<50V、点火成功率>99%(高周波 AC 条件下)。

試験方法: 標準的な溶接装置で複数の点火試験が実施され、点火電圧と成功率が記録されます。

ジルコニウムタングステン電極の特性:低電子脱出仕事(2.7~3.0 eV)により、ジルコニウムタングステン電極は高周波 AC 溶接で急速に発火し、純粋なタングステン電極(4.5 eV)よりも優れています。

#### 著作権および法的責任に関する声明

### 耐燃焼性:

要件:大電流(200~400 A)AC 溶接での電極先端の焼損率<0.1 mm/h。

試験方法:標準的な溶接条件下で数時間連続運転し、チップサイズの変化を測定します(顕微鏡またはレーザー距離計による)。

ジルコニウムタングステン電極の特徴:ジルコニアの分散相保護により、WZ8 電極の寿命は純タングステン電極の寿命の2~3倍長くなり、WZ3 電極の寿命は中程度の電流下でも大幅に延長されます。

### 汚染防止能力:

要件:酸化物( $Al_2O_3$ 、 $MgO$  など)を含む溶接環境では、電極表面に明らかな汚染がなく、アーク安定性は>95%に維持されます。

試験方法:模擬汚染環境で溶接試験を実施し、電極表面の汚染の程度とアーク性能を観察します。

ジルコニウム タングステン電極の特性: 化学的安定性と高い表面仕上げ ( $Ra<0.4 \mu m$ ) により、アルミニウムおよびマグネシウム合金の溶接においてトリウム - タングステンおよびセリウム - タングステン電極よりも優れています。

### 9.3.3 寸法と公差要件

寸法と公差の要件により、ジルコニウム タングステン電極の幾何学的一貫性が保証され、溶接装置とプロセスのニーズを満たします。寸法と公差の標準要件には次のものが含まれます。

#### 直径:

範囲:1.0~6.4mm(一般的な仕様は 1.6mm、2.4mm、3.2mm、4.0mm)。

公差:  $\pm 0.05 \text{ mm}$  (ISO 6848、AWS A5.12、GB/T 4187) で、溶接ガンチャックとの互換性を確保します。

試験方法: レーザー距離計または高精度ノギスを使用して測定します。

#### 長さ:

範囲:75~300 mm(一般的な仕様は 150 mm、175 mm です)。

公差: $\pm 1 \text{ mm}$ 、さまざまな溶接装置のニーズを満たします。

試験方法:CNC 測定器または定規で確認してください。

#### 表面:

要件:表面粗さ  $Ra<0.8 \mu m$ (研磨後  $Ra<0.4 \mu m$ )で、亀裂、傷、酸化物がない。

試験方法:表面粗さ計と顕微鏡による検査。

ジルコニウムタングステン電極の特徴:高い表面仕上げにより、汚染物質の付着が減少し、アークの安定性が向上します。

#### 著作権および法的責任に関する声明

#### チップジオメトリ:

要件:チップ角度 30°~60°(AC 溶接たわみ鈍角 45°~60°、DC 溶接たわみ鋭角 30°~45°)、公差±2°。

試験方法:角度測定器または顕微鏡を使用した検証。

寸法と公差を厳密に制御することで、自動溶接装置におけるジルコニウム タングステン電極の適合性と性能安定性が保証されます。

#### 9.4 ジルコニウムタングステン電極の国内外規格の比較と調整

国内外の規格は、ジルコニウムタングステン電極の分類、化学組成、性能要件、および試験方法において高い類似点を持っていますが、一定の違いもあります。複数の次元と調整の可能性の比較は次のとおりです。

##### 分類と命名:

ISO 6848: ジルコニウム タングステン電極は、ジルコニア含有量に基づいて WZ3 と WZ8 に分けられます。

AWS A5.12: EWZr-1 (WZ8) と EWZr-3 (WZ3) に分かれており、名前は異なりますが、本質的には同じです。

GB/T 4187: WZ3 と WZ8 の分類は ISO で使用されており、名前はまったく同じです。

比較:3 つの分類基準は同じで、AWS(EWZr-1)のネーミングは電極の種類(電極は E、タングステンは W、ジルコニウムは Zr)を強調しています。

調整: 命名の違いは実際の用途には影響せず、国際貿易における比較表を通じて統一できます。

##### 化学組成:

ISO 6848:タングステン純度>99.5%、ジルコニア耐性±0.05%、不純物<0.005%。

AWS A5.12:一貫した要件とより詳細なテスト方法(ICP-MS テストの明示的な要件など)。

GB/T 4187: 要件は ISO と一致していますが、酸素含有量 <0.005% などの不純物はより管理されています。

比較: 3 つの化学組成の要件は非常に一貫しており、GB/T 4187 は酸素含有量管理に関してわずかに厳格です。

調和: ICP-MS などの統一された試験方法による成分要件の一貫性。

##### 物理的特性:

ISO 6848: より一般的な試験方法論でアーク安定性と耐燃焼性を強調します。

AWS A5.12: 発火性能と耐汚染性を向上させるための特定のテスト指標 (発火電圧 <50 V) など)。

GB/T 4187: ISO に似ていますが、AC 溶接のアーク安定性に関するより詳細な要件があります。

比較:AWS 標準はパフォーマンス テストにおいてより具体的ですが、ISO と GB/T は一般性に重点を置いています。

調和: AWS 点火性能テストなどの補足テスト方法を通じて、規格を調和させることがで

#### 著作権および法的責任に関する声明

きます。

#### 寸法と公差:

ISO 6848:直径公差 $\pm 0.05$  mm、長さ公差 $\pm 1$  mm、表面粗さ  $Ra < 0.8$   $\mu\text{m}$ 。

AWS A5.12: 要件は一貫しており、先端角度公差 ( $\pm 2^\circ$ ) にさらに重点が置かれています。

GB/T 4187: 要件は ISO と一致していますが、ハイエンド用途では  $Ra < 0.4$   $\mu\text{m}$  の表面粗さが必要です。

比較: 3 つのサイズ要件は非常に一貫しており、GB/T 4187 は表面品質の点でより厳格です。

調整: 調整された公差基準とレーザー距離計などの試験装置を通じて調整を実現します。

#### 環境保護と安全性:

ISO 6848: 非放射性電極 (ジルコニウム タングステン、セリウム タングステンなど) の使用を奨励し、REACH 規制に準拠しています。

AWS A5.12: MSDS (製品安全データシート) の提供を強調した、非放射能の明示的な要件。

GB/T 4187: 中国の環境保護規制に準拠し、トリウム タングステン電極の使用を禁止します。

比較: 3 つとも環境保護を重視しており、AWS には MSDS に対してより具体的な要件があります。

調和: 調和のとれた MSDS 形式と ISO 14001 などの環境認証による調和。

#### 調整の見通し:

技術調整: ISO、AWS、GB/T 規格はコア要件において非常に一貫しており、貿易障壁を軽減するために技術委員会 (ISO/TC 44 など) を通じて統一された規格を開発できます。

地域差: 北米市場は AWS 規格を好み、ヨーロッパとアジアは ISO 規格を好み、中国は GB/T 規格を支配しています。調整では、地域の規制と市場の習慣が考慮されます。

業界の振興: 世界の主要なタングステン電極メーカーは、標準策定に積極的に参加し、国内外の標準の統合を促進しています。

標準の調和により、ジルコニウム タングステン電極の世界的な生産と応用がより標準化され、国際貿易と技術交流が促進されます。

### 9.5 ジルコニウムタングステン電極規格の更新と開発動向

ジルコニウムタングステン電極規格の更新と開発傾向は、技術の進歩、市場の需要、環境規制によって推進されています。以下では、主要な傾向と開発の方向性を分析します。

#### 技術の進歩が推進:

ナノテクノロジー: ナノスケール ジルコニア ( $< 100$  nm) の応用により、ジルコニウム タングステン電極の性能が向上し、将来の規格では、より厳密な粒度分布や均一性検出など、ナノドーピングに関連する要件が増加する可能性があります。

複合ドーピング: 新しい複合電極 (ドーピングされた  $\text{La}_2\text{O}_3 + \text{ZrO}_2$  など) が開発されており、新しい材料をカバーするように規格を拡張する必要があります。たとえば、ISO 6848 では、複合電極の新しいカテゴリが追加される場合があります。

#### 著作権および法的責任に関する声明

インテリジェントな検出: 人工知能とビッグデータ技術の応用により検査効率が向上し、将来の規格では AI 支援試験方法 (SEM 画像分析など) が導入される可能性があります。

#### 市場の需要が牽引:

高精度アプリケーション: 航空宇宙、原子力産業、医療機器製造では電極の性能がますます求められており、規格によりアーク安定性と耐汚染性に関するより厳しいテストが追加される可能性があります。

自動溶接: 自動 TIG 溶接装置の普及により、より小さな電極サイズ公差 ( $\pm 0.02$  mm など) が必要であり、将来の規格ではサイズ要件が改良される可能性があります。

新興産業: 新しいエネルギー源 (風力や太陽光発電設備など) と 3D プリンティング技術の台頭により、新しいアプリケーション シナリオをカバーする規格の拡大が促進される可能性があります。

#### 環境規制によるもの:

放射能要件なし: 環境規制 (EU REACH、中国の環境保護法など) の強化により、トリウムタングステン電極の制限はさらに拡大され、ジルコニウムタングステン電極の環境上の利点により規格の更新が促進されます。

グリーン製造: 将来の基準により、エネルギー消費、廃棄物リサイクル率、粉塵排出基準など、生産プロセスの環境要件が増加する可能性があります。

MSDS 標準化: AWS A5.12 の MSDS 要件は、ISO および GB/T 規格に採用され、世界的に統一された材料安全仕様を形成する場合があります。

#### 更新トレンド:

標準の収束: ISO、AWS、GB/T 標準がさらに統合され、世界的に統一された標準フレームワークが形成され、貿易障壁が軽減されます。

動的更新: 技術の進歩と市場の需要に対応するために、標準の更新サイクルが短縮されます (5-10 年から 3-5 年)。

デジタル標準: 将来の標準は、リアルタイムのクエリと更新のためにデジタル形式 (オンライン データベースなど) で公開される可能性があります。

ジルコニウムタングステン電極規格の継続的な更新により、高精度、環境に優しく、高効率の分野での応用が促進され、世界的な産業発展のニーズに応えます。

#### 著作権および法的責任に関する声明



## 第 10 章ジルコニウムタングステン電極の検出方法

ジルコニウムタングステン電極の品質検査は、タングステン不活性ガスシールド溶接(TIG溶接)、プラズマ切断、プラズマ溶射における性能に直接関係する、一貫した性能とアプリケーションの信頼性を確保するための重要なリンクです。検出方法は、化学組成、物理的特性、微細構造、電極性能、環境適応性などのさまざまな側面をカバーし、国際規格 (ISO 6848、AWS A5.12 など) および国内規格 (GB/T 4187 など) に準拠する必要があります。この章では、ジルコニウム タングステン電極の検出方法について詳しく説明し、その原理、機器要件、および試験プロセスを分析し、試験装置の校正と標準化について説明し、一般的な問題と解決策を提供して、生産と応用のための技術ガイダンスを提供します。

### 10.1 ジルコニウムタングステン電極の化学組成検出

化学組成試験は、ジルコニウムタングステン電極のタングステンマトリックス、ジルコニア( $ZrO_2$ )含有量、および不純物含有量の純度を検証し、標準要件への準拠を確認するために使用されます(たとえば、WZ3 には 0.15%~0.4%の  $ZrO_2$ が含まれ、WZ8 には 0.7%~0.9%の  $ZrO_2$ が含まれ、不純物<0.005%)が含まれています。一般的に使用されるアッセイ方法には、分光分析と化学滴定が含まれます。

#### 著作権および法的責任に関する声明

CTIA GROUP LTD

Zirconium Tungsten Electrode Introduction

1. Overview of Zirconium Tungsten Electrode

Zirconium tungsten electrode is a non-radioactive welding electrode made by doping a small amount of zirconium oxide (ZrO<sub>2</sub>) into a high-purity tungsten base. It is specifically optimized for AC TIG (Tungsten Inert Gas) welding. Its excellent arc stability and outstanding resistance to contamination make it the preferred choice for welding aluminum, magnesium, and their alloys.

2. Types of Zirconium Tungsten Electrode

Grade	Tip Color	ZrO <sub>2</sub> Content (wt.%)	Characteristics & Applications
WZ3	Brown	0.2-0.4	Ideal for low to medium intensity AC welding; cost-effective
WZ38	White	0.7-0.9	Industry-standard grade with excellent overall performance

3. Standard Sizes & Packaging of Zirconium Tungsten Electrode

Diameter (mm)	Length (mm)	Regular Coloring	Packing:
1.0	150 / 175	Black / Gold / Blue	10 pcs/box
1.6	150 / 175	Black / Gold / Blue	10pcs/box
2.0	150 / 175	Black / Gold / Blue	10pcs/box
2.4	150 / 175	Black / Gold / Blue	10pcs/box
3.2	150 / 175	Black / Gold / Blue	10pcs/box
4.0	150 / 175	Black / Gold / Blue	10pcs/box
Remark	The sizes can be customized		

4. Applications of Zirconium Tungsten Electrode

- Welding of aluminum and aluminum alloys: such as doors, windows, frames, and automotive body structures
- Welding of magnesium and magnesium alloys: widely used in aerospace lightweight components
- AC welding of stainless steel (under specific low-current conditions)
- Precision welding in aerospace, rail transit, pressure vessels, etc.
- Used in automated welding systems and robotic torch assemblies

5. Procurement Information

Email: sales@chinatungsten.com  
Phone: +86 592 5129595; 592 5129696  
Website: www.tungsten.com.cn

著作権および法的責任に関する声明

### 10.1.1 スペクトル解析

スペクトル分析は、放出または吸収された材料のスペクトル特性を検出して化学組成を決定することにより、ジルコニウムタングステン電極の化学組成を検出するための主流の方法です。一般的な機器には、誘導結合プラズマ質量分析 (ICP-MS) と蛍光 X 線分光法 (XRF) が含まれます。

#### 誘導結合プラズマ質量分析(ICP-MS)

原理:サンプルを高温プラズマ(約 6000~10,000°C)でイオン化して荷電イオンを生成し、それを分離して質量分析で測定し、元素含有量を測定します。

過程:

サンプル前処理:ジルコニウムタングステン電極サンプル(約 0.1~1 g)を酸性溶液(硝酸+フッ化水素酸など)に溶解して、均一な溶液を調製します。

機器校正:標準溶液(タングステン、ジルコニウム標準など)を使用して ICP-MS を校正し、 $\pm 0.001\%$ の精度を確保します。

分析:サンプル溶液をアトマイザーを通してプラズマに入力し、タングステン(>99.5%)とジルコニア(WZ3:0.15%~0.4%;WZ8: 0.7%~0.9%) および不純物 (Fe、Si、C<0.005% など)。

データ処理: ソフトウェアを通じてスペクトル データを分析し、組成レポートを生成します。

利:

高感度:検出限界は ppb レベル( $10^{-9}$ )に達する可能性があります。

高精度:誤差 $\leq \pm 0.001\%$ で、微量不純物の検出に適しています。

多元素分析:複数の元素(W、Zr、Fe、Si など)を同時に検出できます。

制限事項:複雑なサンプル前処理、強酸、および高い機器コスト(約 50~100 万米ドル)。

用途:航空宇宙および原子力産業の要件を満たすハイエンドジルコニウムタングステン電極(WZ8 など)の品質認証に広く使用されています。

#### 蛍光 X 線分光法(XRF)

原理:X 線はサンプル原子を励起し、特徴的な蛍光を生成し、蛍光強度を検出することで元素含有量を測定します。

過程:

サンプルの準備:ジルコニウム タングステン電極サンプルを  $Ra < 0.4 \mu m$  に研磨するか、粉末錠剤にします。

機器の校正:標準サンプル(高純度タングステン、ジルコニアなど)を使用して XRF 装置を校正します。

分析:サンプルを X 線にさらし、タングステン、ジルコニア、不純物の蛍光強度を検出し、内容物を分析します。

データ処理: 0.01% ±精度で成分レポートを生成します。

#### 著作権および法的責任に関する声明

利:

非破壊:サンプルを溶解する必要がなく、完成品の検査に適しています。

操作が簡単:検査時間<5分で、オンライン品質管理に適しています。

低コスト:デバイスの価格は約 10 ドルから 300,000 ドルです。

制限:感度が ICP-MS よりも低く(検出限界は約 ppm)、微量不純物の検出能力は限られています。

アプリケーション:WZ3 および WZ8 電極のジルコニア含有量検証など、大量生産における迅速な成分検出用。

### 10.1.2 化学滴定法

化学滴定は、化学反応によってジルコニア含有量を定量化し、実験室および小ロット試験に適しています。方法は次のとおりです。

原理: ジルコニアと EDTA などの特定の試薬との化学反応により、滴定によってその含有量を測定するために使用されます。

過程:

サンプルの溶解:ジルコニウムタングステン電極サンプル(約 0.5~1 g)を酸溶液(硝酸+フッ化水素酸など)に溶解します。

ジルコニウムの分離:化学沈殿によるジルコニウムイオンの分離(例えば、アンモニアを加えて  $Zr(OH)_4$  沈殿を形成する)。

滴定:ジルコニウムイオンを EDTA 標準溶液で滴定し、指示薬(キシレンオレンジなど)を加え、色の変化を観察して終点を決定します。

計算: ジルコニア含有量は、滴定量に従って 0.02%±精度で計算されます。

利:

低コスト:高価な機器が不要で、小規模な研究室に適しています。

高度にターゲットを絞った:ジルコニア含有量について特別にテストされ、信頼性の高い結果が得られます。

制限:

複雑な操作:化学分析スキルの習熟度が必要であり、これには長い時間(約 1~2 時間)がかかります。

ジルコニアのみ:他の不純物やタングステン含有量は検出できません。

用途:ジルコニウムタングステン電極製造の初期段階での組成検証、または ICP-MS/XRF の補完的な方法として。

## 10.2 ジルコニウムタングステン電極の物性試験

物性試験は、ジルコニウム タングステン電極の硬度、密度、気孔率を評価するために使用され、その機械的特性と構造的完全性が溶接および切断要件を満たしていることを確認

#### 著作権および法的責任に関する声明

します。

### 10.2.1 硬さ試験

硬度試験では、ジルコニウム タングステン電極の変形に対する耐性を評価し、高温アークでの耐摩耗性や焼損性を反映します。一般的な方法には、ピッカース硬度 (HV) 試験とロックウェル硬度 (HRC) 試験が含まれます。

#### ピッカース硬さ試験

原理:ダイヤモンド圧子で電極表面に特定の荷重(通常 5~10 kgf)を加え、くぼみの対角線の長さを測定して硬度値を計算します。

過程:

サンプルの準備:電極を  $Ra < 0.4\mu\text{m}$  に研磨し、断面サンプルに切断します。

テスト:ピッカース硬さ試験機(HV-1000 など)を使用して、5kgf の荷重を加え、圧力を 10~15 秒間保持します。

測定:顕微鏡でくぼみの対角線の長さを測定し、硬度を計算します (標準: HV 400~500)。

利点:高精度で、小さなサンプルサイズに適しています。微視的な領域の硬度を検出できます。

制限事項:サンプルを研磨する必要があり、テスト速度が遅い(ポイントあたり約 1 分)。

用途:ジルコニウム タングステン電極の耐摩耗性を評価するために使用され、大電流溶接における先端の安定性を確保します。

#### ロックウェル硬さ試験

原理:鋼球またはダイヤモンド圧子ヘッドで荷重(通常 60~150 kgf)を加え、くぼみの深さを測定し、硬度値を計算します。

過程:

サンプル前処理:電極表面を  $Ra < 0.8\mu\text{m}$  まで研磨します。

テスト:ロックウェル硬さ試験機(HR-150A など)を使用して、60kgf の荷重を加え、圧力を 5~10 秒間保持します。

測定:硬度値の直接読み取り(通常:HRC 40~50)。

利点:操作が簡単で、迅速な検出に適しています。

制限事項:精度はピッカース硬度よりも低く、大型サンプルに適しています。

用途:大量生産における迅速な硬度スクリーニング用。

### 10.2.2 密度と気孔率試験

密度と気孔率の試験は、ジルコニウム タングステン電極のコンパクトさと内部欠陥を評価するために使用され、熱伝導率と耐燃焼損性に影響を与えます。

#### 著作権および法的責任に関する声明

## 密度試験

原理:電極の密度はアルキメデスの原理によって測定され、理論密度(約 19.25 g /cm<sup>3</sup>)に対する比が計算されます。

過程:

サンプルの前処理:電極サンプル(長さ 10~20 mm)を取り、洗浄して乾燥させます。

測定:乾燥重量と水分重量は、密度を計算するために高精度の電子天びん(精度±0.001g)を使用して測定されます。

結果:高品質のジルコニウムタングステン電極の密度は、理論密度の 95%~98%でした。

利点:シンプル、高速、非破壊。

制限事項:内部細孔分布を検出できない。

用途:焼結後の電極の迅速な品質評価用。

## 気孔率試験

原理:顕微鏡観察またはガス吸着により電極内部の細孔の割合を測定します。

過程:

顕微鏡検査:電極スライスを研磨し、光学顕微鏡または SEM を使用して気孔率を計算して気孔率を観察し、気孔率(<0.5%)を計算します。

ガス吸着法:窒素吸着装置(BET 法など)を使用して、精度±0.01%で孔容積を測定します。

利点:顕微鏡法は直感的で、ガス吸着法は高精度です。

制限事項: 顕微鏡法ではサンプルを破壊する必要があり、ガス吸着法では使用コストがかかります。

用途:WZ8 などのハイエンド電極の品質管理に使用され、内部欠陥がないことを確認します。

## 10.3 ジルコニウムタングステン電極の微細構造解析

微細構造解析は、ジルコニウムタングステン電極の粒径、ジルコニア分布、および相組成を研究するために使用され、アーク安定性と耐燃焼性に直接影響します。一般的な方法には、走査型電子顕微鏡 (SEM) や X 線回折 (XRD) などがあります。

### 10.3.1 走査型電子顕微鏡 (SEM)

原理:試料の表面を電子ビームでスキャンし、粒径(10~20μm)、ジルコニア分布、内部欠陥を観察する高解像度画像を生成する。

過程:

サンプル前処理:電極スライスを研磨(Ra<0.2 μm)するか、破壊後に破壊形態を保持します。

テスト:SEM(JEOL JSM-7800F など)を使用して、加速電圧を 10~20kV、倍率を 100~5000 倍に設定します。

分析:エネルギー分光法(EDS)と組み合わせてジルコニアの分布を分析し、粒径と気孔率を

#### 著作権および法的責任に関する声明

チェックします。

利:

高分解能:ナノスケールのジルコニア粒子(<100nm)を観察できます。

多機能:EDS と組み合わせることで、元素分布を定量的に分析できます。

制限事項:複雑なサンプル前処理と高額な機器コスト(約 50~100 万ドル)。

用途:WZ8 電極のジルコニアの均一性と焼結品質を分析し、アークの安定性を確保するために使用されます。

### 10.3.2 X 線回折(XRD)

原理:結晶の結晶構造と相組成を X 線とサンプル結晶の回折によって分析し、タングステンマトリックスとジルコニアの結晶形を検証します。

過程:

サンプルの準備: 電極を粉末に粉砕するか、研磨したサンプルを直接使用します。

テスト:XRD 装置(Bruker D8 Advance など)を使用して、Cu-K $\alpha$  線(波長 1.5406 Å)を 10°~90°のスキャン角度で設定します。

分析:回折ピークを標準スペクトルと比較して、タングステン(体心立方構造)とジルコニア(単斜晶系結晶型)相を確認し、不均一な相をチェックします。

利:

非破壊:完成品の検査に適しています。

高精度:微量の不純物(酸化物など)を検出できます。

制限事項:顕微鏡的な形態を直接観察することはできず、SEM 分析が必要です。

用途:ジルコニウム タングステン電極の結晶構造を検証するために使用され、浮遊相が性能に影響を与えないことを確認します。

## 10.4 ジルコニウムタングステン電極の電極性能試験

電極性能試験では、アーク安定性、点火性能、寿命など、実際の溶接または切断におけるジルコニウム タングステン電極の性能を評価します。

### 10.4.1 アーク安定性試験

原理:TIG 溶接またはプラズマ切断条件をシミュレートすることにより、アークのドリフト速度と形状安定性を測定します。

過程:

試験装置:電流が 150~400 A、アルゴン(流量 10~20 L/min)の高周波 AC TIG 溶接機(Miller Dynasty 400 など)を使用します。

試験条件:電極径 2.4~3.2 mm、先端角度 45°~60°、溶接材料アルミニウム合金(例:6061)。

#### 著作権および法的責任に関する声明

測定:高速度カメラ(フレームレート>1000fps)で円弧形状を記録し、ドリフトレート(<5%)を解析しました。

結果:WZ8 電極のアークドリフト率は、大電流で<3%であり、WZ3(<5%)よりも優れていました。

利点: 実際の用途における電極の性能を直接反映します。

制限事項: 試験条件は厳密に管理する必要があり、機器は複雑です。

用途: AC 溶接におけるジルコニウム タングステン電極のアーク安定性を検証するために使用され、航空宇宙および自動車製造のニーズに応えます。

#### 10.4.2 点火性能と寿命試験

##### 点火性能試験

原理: 高周波 AC または DC 条件下での電極の点火電圧と成功率を測定します。

過程:

試験装置:高周波 TIG 溶接機、設定電流 50~150 A(WZ3)または 150~400 A(WZ8)。

試験条件:電極径 1.6~3.2mm、先端角度 30°~60°、繰り返し点火 100 回。

測定:点火電圧(<50V)と成功率(>99%)が記録されます。

結果:ジルコニウムタングステン電極の発火電圧は、純粋なタングステン電極の発火電圧よりも低く(約 60~80 V)、WZ8 は WZ3 よりも優れていました。

用途:自動溶接における電極の急速点火性能を確保します。

##### 寿命試験

原理:電極先端の焼損率と耐用年数は、標準的な溶接条件下で測定されます。

過程:

試験条件:AC 溶接、電流 200~400 A、1~2 時間の連続運転。

測定:顕微鏡またはレーザー距離計を使用して、先端の焼損 (<0.1 mm/h) を測定します。

結果:WZ8 電極の寿命は純タングステン電極の約 2~3 倍、WZ3 の寿命は約 1.5~2 倍です。

用途:高強度溶接における電極の耐久性を評価するために使用されます。

#### 10.5 ジルコニウムタングステン電極の環境適応性試験

環境適応性試験では、特殊な環境(高湿度、高温、腐食性ガスなど)におけるジルコニウム タングステン電極の性能を評価し、実際の応用シナリオをシミュレートします。

##### 高湿度環境試験

プロセス:TIG 溶接は、アークの安定性と表面汚染を観察するために、湿度>80% の環境

##### 著作権および法的責任に関する声明

で 150–300 A の電流で実行されました。

結果:WZ8 電極の汚染防止能力は WZ3 よりも優れており、アークドリフト率は<5%でした。

用途:海洋工学および造船における電極の信頼性を検証します。

### 高温環境試験

プロセス:プラズマ切断(温度>10,000°C)で2時間連続運転し、チップの焼損速度(<0.1mm/h)を測定します。

結果:WZ8 電極の寿命は、高温での純粋なタングステンおよびセリウム タングステン電極の寿命よりも優れていました。

用途:航空エンジンのスプレーや重機の切断に使用されます。

### 腐食性ガス試験

プロセス:塩素または硫化物を含む環境で溶接し、電極表面の腐食とアークの安定性を観察します。

結果:ジルコニウムタングステン電極の化学的安定性により、その表面には明らかな腐食がなく、アーク安定性は 95%>でした。

アプリケーション:化学産業における電極の適用性を検証します。

## 10.6 ジルコニウムタングステン電極試験装置の校正と標準化

試験装置の校正と標準化は、試験結果の精度と再現性を確保するための鍵であり、国際規格 (ISO/IEC 17025 など) に準拠する必要があります。

### 校正方法:

ICP-MS/XRF:標準サンプル(高純度タングステン、ジルコニアなど)を使用して、3~6 か月ごとに±0.001%の精度で校正されます。

硬さ試験機:標準硬さブロック(HV 400 など)を使用して校正され、誤差は<±2HV です。

SEM/XRD:電子ビームと X 線源を定期的に校正して、分解能と回折ピーク精度を確保します。

アーク試験装置:標準電流源と高速度カメラで校正され、誤差は<±5A です。

### 標準化要件:

ISO 6848、AWS A5.12、および GB/T 4187 のテスト方法に準拠します。

校正データを記録し、トレーサビリティファイルを確立します。

国際比較テスト(例:ISO / TC 44 が主催する実験室での比較)。

最新のテクノロジー:自動校正システムと LabVIEW などのデータ管理ソフトウェアを使用して、校正効率とデータの信頼性を向上させます。

## 10.7 ジルコニウムタングステン電極検出における一般的な問題と解決策

### 問題 1:化学組成検出バイアス

現象:ICP-MS または XRF 検査結果が基準値から逸脱している(ジルコニア含有量が基準値

#### 著作権および法的責任に関する声明

を超えているなど)。

原因:サンプル前処理が不均一、機器が校正されていない、または不純物の干渉。

解決:

溶解時間を延長(>2 時間)してサンプル前処理を最適化し、均質性を確保します。

定期的に機器を校正し、標準サンプルで検証します。

不純物の干渉を排除するために、ブランクサンプルテストが追加されています。

### 問題 2: 一貫性のない硬さ試験

現象:硬度値は地域によって大きく異なります(>±10HV)。

原因:サンプル表面が不均一であるか、テストポイントが不適切に選択されています。

解決:

研磨精度( $Ra < 0.2\mu m$ )を向上。

テストポイントの数を増やし(5>)、平均を取ります。

### 問題 3: 異常な微細構造解析

現象:SEM または XRD は、ジルコニアの分布が不均一または不均一な相を示します。

原因:焼結工程の欠陥、または試料前処理の汚染。

解決:

最適化された焼結パラメータ(温度 1800~2200°C、1~2 時間保持)。

汚染を避けるために、高純度試薬でサンプルを洗浄します。

### 問題 4: アーク性能テストが不安定である

現象:アークドリフト率>5%または高い点火故障率。

原因:電極先端の角度が不安定または試験条件が不安定です。

解決:

CNC 研削盤を使用して加工した先端角度公差±2°を確保します。

標準化された試験条件(例:アルゴン流量 10~20 L/min)。

体系的な試験方法と問題解決手段を通じて、ジルコニウムタングステン電極の品質管理は、高精度の産業用途のニーズを満たすことができます。



## 第 11 章ジルコニウムタングステン電極の将来の開発動向

ジルコニウムタングステン電極は、タングステン不活性ガスシールド溶接(TIG 溶接)、プラズマ切断、プラズマ溶射の主要材料として、優れたアーク安定性、耐燃焼性、耐汚染性により、航空宇宙、自動車製造、原子力産業などの分野で重要な位置を占めています。新材料技術、インテリジェント生産、グリーン製造、新興産業の急速な発展に伴い、ジルコニウムタングステン電極の性能最適化と応用分野は常に拡大しています。この章では、新しい材料と技術の応用、性能最適化の方向性、インテリジェントで自動化された生産の傾向、グリーン製造と持続可能な開発、新興分野での可能性など、ジルコニウムタングステン電極の将来の開発動向を探り、業界の発展に将来を見据えた参考資料を提供することを目的としています。

### 11.1 新素材・新技術の開発

新しい材料と技術の急速な開発により、ジルコニウム タングステン電極の性能が向上し、製造プロセスを最適化するための新たな可能性がもたらされます。以下では、材料革新とプロセス技術の 2 つの側面からその開発傾向を分析します。

#### 新素材の開発

ナノスケールジルコニアドーピング:従来のジルコニアタングステン電極(WZ3、WZ8 な

#### 著作権および法的責任に関する声明

ど)は、ドーパントとしてミクロンスケールのジルコニア(粒子サイズ 0.1~1 $\mu$ m)を使用しますが、将来的にはナノスケールのジルコニア(<100 nm)に転換される予定です。ナノスケールのジルコニアは表面エネルギーと分散が高く、電極のアーク安定性と耐焼損性を大幅に向上させることができます。たとえば、ナノ ZrO<sub>2</sub>をドーピングした WZ8 電極は、大電流(300~400 A)AC 溶接で寿命を 20%~30%延ばすことができることが研究で示されています。

複合ドーピング材料:複数の酸化物(ZrO<sub>2</sub> + La<sub>2</sub>O<sub>3</sub>、ZrO<sub>2</sub> + CeO<sub>2</sub>など)を同時にドーピングすることにより、ジルコニウムタングステン電極(アーク安定性)、ランタンタングステン電極(着火性能)、セリウムタングステン電極(コスト上の利点)の利点を組み合わせることができます。複合ドーピング電極は粒径が小さく(5~10 $\mu$ m)、焼損しにくいいため、高精度の溶接やプラズマ溶射に適しています。

新しいマトリックス材料: 電極の硬度 (HV 500-600) と耐摩耗性を向上させ、高温プラズマ環境での寿命を延ばすために、タングステン-炭化タングステン複合材料などのタングステンベースの複合材料を基板として検討します。

機能性コーティング: ジルコニウム タングステン電極の表面にナノスケールのセラミックコーティング (ジルコニアや窒化チタンなど) を塗布すると、耐汚染性と表面仕上げ (Ra<0.2  $\mu$ m) がさらに向上し、溶接中の汚染物質の付着が軽減されます。

## 新技術の開発

積層造形 (3D プリンティング): 積層造形技術を使用して、ジルコニアの分布と粒径を正確に制御することで電極の性能を最適化し、複雑な構造を持つジルコニウム タングステン電極ブランクを製造できます。たとえば、レーザー選択溶融 (SLM) 技術により、ナノスケールでの ZrO<sub>2</sub> の均一なドーピングが可能になり、気孔率 (<0.3%) が低減されます。プラズマ溶射の強化: プラズマ溶射技術を電極製造に導入し、ナノスケールのジルコニアをタングステンマトリックスの表面に溶射して均一なドーピング層を形成し、電極の燃え尽き症候群に対する耐性を向上させます。

マイクロ波焼結技術:マイクロ波焼結(周波数 2.45GHz)は、高速で均一な加熱を可能にし、焼結時間を短縮し(4~6 時間から 2~3 時間)、結晶粒成長を抑制し(結晶粒サイズは 5~10 $\mu$ m に制御)、電極の機械的特性とアーク安定性を向上させます。

表面ナノテクノロジー:レーザー表面処理またはイオンビーム改質技術により、電極表面にナノスケールの結晶構造が形成され、表面硬度と汚染防止能力がさらに向上します。たとえば、レーザー処理された WZ8 電極は、最大 HV 550 の表面硬度を持ち、耐汚染性が 15% 向上します。

これらの新材料と技術の応用により、ジルコニウム タングステン電極の開発が高性能、低コスト、より環境に優しい方向に進み、航空宇宙、原子力産業、その他の分野の厳しい要件を満たします。

## 著作権および法的責任に関する声明

## 11.2 ジルコニウムタングステン電極の性能最適化方向

ジルコニウムタングステン電極の性能最適化は、アーク安定性、発火性能、耐燃焼損失性、耐汚染性、高温安定性に焦点を当てた将来の開発の中核です。

### アーク安定性

最適化の方向性: ナノスケールのジルコニアドーピングと複合ドーピングにより、電子逃げ仕事量を低減(2.7~3.0 eV から 2.5~2.7 eV に)、アーク濃度を改善し、ドリフト率(目標 <2%)を低減します。

技術的なパス:

超音波分散などの均一性の高い混合技術を使用して、ジルコニアの均一な分布を確保し、アーク不安定性ゾーンを低減します。

チップ形状の設計(例: チップ角度 45°~60°、曲率半径 0.1~0.2 mm)を最適化して、円弧のフォーカス性を向上させます。

AI 支援アーク解析が導入され、アーク形状をリアルタイムで監視することでドーピング比とプロセスパラメータを最適化しました (高速撮影、> 1000 fps)。

アプリケーションの目的: 高電流(400~600 A)AC 溶接におけるジルコニウムタングステン電極の安定性を向上させ、厚いアルミニウムおよびマグネシウム合金の溶接ニーズを満たすこと。

### 点火性能

最適化方向: 点火電圧(目標<40V)を下げ、点火成功率(>99.5%)を高め、高周波自動溶接装置に適應します。

技術的なパス:

ナノスケールのジルコニアは、電極表面の電子放出能力を向上させるために使用されます。

表面研磨プロセス(Ra<0.1 μm)は、表面欠陥が点火に与える影響を軽減するために最適化されています。

新しい複合ドーピング電極(ZrO<sub>2</sub>+La<sub>2</sub>O<sub>3</sub>など)を開発し、ランタンタングステン電極の点火の利点を組み合わせます。

アプリケーションの目標: 自動 TIG 溶接生産ラインにおけるジルコニウムタングステン電極の効率を向上させ、点火故障率を低減します。

### 火傷による耐性

最適化の方向性: 電極の寿命を延ばし(目標: WZ8 寿命>150 時間、WZ3>100 時間)、チップの焼損率(<0.05mm/h)を低減します。

技術的なパス:

マイクロ波焼結またはプラズマ焼結技術を使用して、粒子サイズ(5~10 μm)を最適化し、

#### 著作権および法的責任に関する声明

密度を高めました(理論密度>98%)。

ナノスケールのセラミックコーティング(ジルコニアやアルミナなど)を導入して、チップの高温耐性を向上させます(>3000°C)。

冷却システム(水冷チャックなど)を最適化して、電極先端の温度を下げます。

アプリケーションの目標:プラズマ切断およびスプレーにおけるジルコニウムタングステン電極の耐用年数を延ばし、生産コストを削減します。

### 耐汚染性

最適化の方向性:酸化物含有( $Al_2O_3$ 、 $MgO$  など)または腐食性ガス環境における電極の防汚性能を向上させ、アーク安定性(>98%)を維持します。

技術的なパス:

表面仕上げ( $Ra < 0.1\mu m$ )を向上させ、汚染物質の付着を低減します。

化学的安定性を高めるために、汚染防止コーティング (窒化チタンや炭化タングステンなど)を開発します。

保護ガス(アルゴン 70%+ヘリウム 30%など)の比率を最適化して、酸化物の生成を減らします。

アプリケーションの目的: 海洋工学や化学産業などの複雑な環境におけるジルコニウムタングステン電極の信頼性を向上させます。

### 高温安定性

最適化の方向:高温プラズマ環境(>10,000°C)における電極の安定性を向上させ、熱応力と微小亀裂を低減します。

技術的なパス:

複合マトリックス (タングステン - 炭化タングステンなど) は、熱伝導率 (>100 W/m · K) と耐熱衝撃性を向上させるために使用されます。

熱処理プロセス(真空アニーリング、1200~1600°C など)を最適化して、内部応力を排除します。

有限要素解析 (FEA) は、電極設計を最適化し、高温変形を低減するために導入されました。

アプリケーションの目的: 航空エンジンのスプレーおよび原子力産業溶接の高温要件を満たします。

これらの最適化の方向性は、将来の産業ニーズを満たすために、高精度、高強度の用途におけるジルコニウムタングステン電極の競争力を促進します。

### 11.3 インテリジェントで自動化された生産の動向

インテリジェントで自動化された生産は、ジルコニウム タングステン電極製造における将来のトレンドであり、生産効率、製品品質、一貫性を大幅に向上させます。

#### 著作権および法的責任に関する声明

## インテリジェント生産システム

産業用モノのインターネット (IIoT): センサーとデータ収集システムを通じて生産パラメータ (研削速度、焼結温度、引き抜き張力など) をリアルタイムで監視し、プロセス全体のデジタル管理を実現します。たとえば、IIoT システムはスクラップ率を<1%に削減できます。

人工知能 (AI) の最適化: 機械学習アルゴリズムを使用して、SEM 画像とアークテストデータを分析することにより、ジルコニアのドーピング率や焼結温度を自動的に調整するなどのプロセスパラメータを最適化し、誤差は 0.01% <±します。

デジタルツイン技術: 電極生産ラインのデジタルツインモデルを確立して、原材料の加工、プレス、焼結、その他のプロセスをシミュレートし、品質問題を予測し、生産効率を最適化します(10%~20%の改善)。

## 自動生産ライン

自動粉砕・混合: ロボット制御の遊星ボールミルと V ミキサーにより、連続・無人運転を実現し、混合均一性>99.5%です。

自動プレスと成形: 冷間静水圧プレス (CIP) には自動ローディングおよびアンローディングシステムが装備されており、1 台のプレスで複数のピレット (> 100 個/バッチ) をプレスし、生産効率を 30% 向上させます。

自動加工と検査: CNC 絞り機とレーザー切断機は、精密加工 (公差 ±0.02 mm) を実現し、インライン検査装置 (XRF、レーザー距離計など) を統合して手動介入を減らします。

## 利点と課題

利点: 生産効率の向上 (>30%)、人件費の削減 (>20%)、安定した品質 (公差 <±0.02 mm)。

課題: 高額な初期投資(インテリジェント機器に約 100~500 万米ドル)と専門技術者のトレーニング。

ソリューション: モジュール設計とクラウドテクノロジーにより機器コストを削減し、オンライントレーニングプラットフォームで従業員のスキルを向上させます。

インテリジェントで自動化された生産の傾向は、大規模な工業化のニーズを満たすために、効率、精度、低コストの方向でのジルコニウムタングステン電極製造の発展を促進します。

## 11.4 グリーン製造と持続可能な開発

グリーン製造と持続可能な開発は、EU REACH や中国の環境保護法などの世界的な環境規制によって推進される、ジルコニウムタングステン電極業界にとって重要な発展の方向性です。

## グリーン生産技術

低エネルギー焼結: マイクロ波焼結またはプラズマ焼結技術を使用して、エネルギー消費を 30%~40%削減し、炭素排出量を削減します。例えば、マイクロ波焼結炉は、従来の真

[著作権および法的責任に関する声明](#)

空焼結炉の約 60%のエネルギーを消費します。

廃棄物のリサイクル: タングステン粉末とジルコニアのリサイクル技術を開発し、生産プロセスにおける廃棄物(粉碎粉塵、切断廃棄物など)の回収率を>90%に高めます。たとえば、中国タングステンハイテクはタングステン粉末の回収率 95% を達成しました。

汚染のないプロセス: 従来のグラファイト潤滑剤の代わりに環境に優しい潤滑剤 (水性潤滑剤など) を使用して、絞りや研磨中の汚染を軽減します。

### 環境にやさしい素材

非放射性電極: ジルコニウム タングステン電極は非放射性であるため、トリウム タングステン電極 (WT20) の理想的な代替品となり、REACH 規制に準拠しています。将来の規格では、トリウムタングステン電極の使用が完全に禁止される可能性があります。

分解性包装: 従来のプラスチック包装をバイオベースプラスチックなどの生分解性材料に置き換えることで、環境汚染が軽減されます。

低不純物材料: 原料精製プロセスを最適化することにより、不純物含有量(<0.003%)が削減され、製造プロセスにおける排気ガスの排出が削減されます。

### 持続可能なサプライチェーン

グリーンサプライチェーン管理: タングステン鉱石およびジルコニアのサプライヤーと協力し、ISO 14001 認証に準拠したサプライヤーを優先し、原材料の抽出と加工における環境への配慮を確保します。

循環経済モデル: 電極リサイクルシステムを確立し、使用済みのジルコニウムタングステン電極を回収し、タングステンとジルコニアを抽出して再利用し、資源の無駄を削減します。

### 政策と市場主導

規制促進: 中国のカーボンピークとカーボンニュートラルの目標と欧州連合のグリーンニューディールにより、製造にはエネルギー消費と排出量の削減が義務付けられており、ジルコニウムタングステン電極の製造はこれらの規制に準拠する必要があります。

市場インセンティブ: グリーン認証 (ISO 14001、グリーン製造認証など) は、企業の競争力を強化し、ハイエンド顧客 (航空宇宙企業など) を引き付けることができます。

グリーン製造と持続可能な開発の実施により、ジルコニウムタングステン電極産業の環境イメージが向上し、世界市場での長期的な競争力が促進されます。

## 11.5 新興分野におけるジルコニウムタングステン電極の可能性

ジルコニウム タングステン電極は、新エネルギー、積層造形、宇宙探査、医療技術開発によって推進される新興分野での応用に大きな可能性を秘めています。

### 新エネルギー産業

風力と太陽光: 風力タービンや太陽光発電設備の製造には、アルミニウム合金とステンレス鋼の溶接が含まれますが、アーク安定性と耐汚染性の点でジルコニウム タングステン電極 (WZ8) が好まれます。たとえば、WZ8 電極は、シーメンスの風力タービンブレードの製造における TIG 溶接に使用されます。

#### 著作権および法的責任に関する声明

水素エネルギー装置:水素貯蔵タンクや燃料電池の製造には高品質の溶接が必要であり、ステンレス鋼とニッケル合金の溶接におけるジルコニウムタングステン電極の優れた性能はこれらのニーズを満たします。

可能性: 世界の再生可能エネルギー容量が増加するにつれて (2030 年までに 5,000 GW に達すると予想)、ジルコニウム タングステン電極の需要は 20% から 30% 増加します。

### 積層造形(3D プリンティング)

用途: ジルコニウム タングステン電極は、積層造形におけるプラズマ アーク蒸着 (PAD) に使用して、高精度のタングステンベースの複合部品を作成できます。たとえば、GE Aviation はプラズマ アーク蒸着を使用してタービン ブレードを製造しており、ジルコニウム タングステン電極は安定したプラズマ アークを提供します。

可能性: 積層造形市場の急速な成長 (CAGR>20%) により、高精度製造におけるジルコニウム タングステン電極の応用が促進されます。

### 宇宙探査

用途: ジルコニウム タングステン電極は、宇宙船やロケットの軽量材料 (アルミニウム合金、マグネシウム合金など) の溶接や、高温耐性コーティングのプラズマ溶射に使用されます。たとえば、SpaceX の Starship ロケットは、TIG 溶接用の WZ8 電極で構築されています。

可能性: 商業航空宇宙 (SpaceX、Blue Origin など) の発展に伴い、高信頼性溶接におけるジルコニウム タングステン電極の需要は今後も高まるでしょう。

### 医療技術

用途:ジルコニウムタングステン電極は、チタン骨格インプラントなどの医療用インプラントの TIG 溶接や、生体適合性コーティング(ヒドロキシアパタイトなど)のプラズマ溶射に使用されます。防汚機能により、溶接部は無毒で欠陥がありません。

可能性: 世界の医療用インプラント市場は 2030 年までに 1,500 億ドルに達すると予想されており、高精度の医療製造におけるジルコニウム タングステン電極の用途は大幅に増加すると予想されています。

### その他の新興分野

マイクロエレクトロニクス製造: ジルコニウム タングステン電極は、半導体デバイスや電子部品を作成するためのマイクロ TIG はんだ付けに使用できます。

海洋工学: ジルコニウム タングステン電極は、アルミニウム合金の潜水艦シェルなどの深海機器の溶接において耐食性の利点をもたらします。

核融合研究: ジルコニウム タングステン電極は、ITER などの核融合装置のプラズマ溶射や溶接に応用できる可能性があり、高温および高放射線要件を満たします。

これらの新興分野の急速な発展は、ジルコニウムタングステン電極に幅広い市場スペースを提供し、技術革新と応用拡大を推進するでしょう。

#### 著作権および法的責任に関する声明



## 第 12 章ジルコニウムタングステン電極のリサイクルとリサイクル

ジルコニウムタングステン電極は、タングステン不活性ガスシールド溶接(TIG 溶接)、プラズマ切断、プラズマ溶射の主要材料として、高融点、優れたアーク安定性、耐燃焼性により、航空宇宙、自動車製造、原子力産業などの分野で広く使用されています。しかし、ジルコニウムタングステン電極の製造は、希少な資源と高い採掘コストであるレアメタルであるタングステンとジルコニウムに依存しており、リサイクルとリサイクルは持続可能な開発を達成するための重要な方法となっています。この章では、ジルコニウムタングステン電極のリサイクルプロセス、リサイクルプロセスの経済的価値、汚染防止、リサイクルプロセスにおける環境保護規制、国内外のリサイクルの現状と発展傾向について詳しく説明し、業界のグリーン製造と循環経済の参考を提供します。

### 12.1 スクラップ電極のリサイクルプロセス

スクラップされたジルコニウムタングステン電極は、主に使用後に摩耗した電極から発生し、製造プロセスで廃棄物、不良品、スクラップ材料を切断します。リサイクルプロセスは、タングステンとジルコニア ( $ZrO_2$ ) の収集、選別、分解、精製、再処理を含む、分離、精製、再利用を目的としています。

#### 収集と仕分け

収集: 使用済み電極は、リサイクル ネットワークを通じて溶接工場、切断工場、製造企

#### 著作権および法的責任に関する声明

業から収集され、多くの場合、スクラップ箱や専用容器に入れてリサイクル センターに輸送されます。

選別:電極の種類(WZ3、WZ8 など)に応じて選別し、非ジルコニウムタングステン電極(トリウムタングステン、セリウムタングステンなど)および非金属不純物(溶接スラグ、油污れなど)を除去します。一般的に使用される機器には次のものがあります。

磁気分離器:強磁性不純物(Fe 含有量<0.005%)などを除去します。

振動スクリーン:異なるサイズの電極片を分離します(ふるい穴 10~50 mm)。

手動選別: 複雑な廃棄物の場合は、分類の正確性を確保するために手動検査が使用されます。

要件:選別後のジルコニウムタングステン電極の純度は>95%、不純物含有量は<1%です。

### 分解と粉砕

機械的破碎:スクラップ電極は、ジョークラッシャーまたはハンマークラッシャーを使用して小さな粒子(粒子サイズ 1~10 mm)に粉砕されます。機器の特徴:

出力:50~100 kW、処理速度 0.5~2 t/h。

防塵設計:真空吸引システムを搭載し、粉塵の排出を 10mg/m<sup>3</sup><制御します。

化学分解:表面汚染の激しい電極(酸化物や油など)の場合、酸洗(硝酸またはフッ化水素酸溶液、濃度 5%~10%)を使用して表面不純物を除去します。

結果:粉砕された粒子はその後の精製に適しており、表面汚染物質の除去率は 99%>でした。

### 浄化

湿式製錬 化学的溶解と沈殿によるタングステンとジルコニアの分離

タングステン抽出:アンモニア(NH<sub>4</sub>OH、濃度 10%~20%)を使用して粉砕粒子を溶解してタングステン酸アンモニウム溶液を形成し、結晶化して焼成して高純度タングステン粉末(純度>99.9%)を得る。

ジルコニア抽出:硫酸(H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>、濃度 10%~15%)を使用してジルコニウム化合物を溶解し、アンモニア水を加えて Zr(OH)<sub>4</sub>沈殿物を形成し、焼成後にジルコニア粉末(純度>99.5%)を得ます。

乾式冶金: 塩素処理 (塩素ガス流量 10~20 L/min) を高温 (800~1000°C) で使用して、タングステンとジルコニウムを揮発性塩化物に変換し、蒸留によって分離します。

結果:タングステンの回収率は>90%、ジルコニアの回収率は>85%、不純物含有量は 0.005%<でした。

#### 著作権および法的責任に関する声明

CTIA GROUP LTD

Zirconium Tungsten Electrode Introduction

1. Overview of Zirconium Tungsten Electrode

Zirconium tungsten electrode is a non-radioactive welding electrode made by doping a small amount of zirconium oxide (ZrO<sub>2</sub>) into a high-purity tungsten base. It is specifically optimized for AC TIG (Tungsten Inert Gas) welding. Its excellent arc stability and outstanding resistance to contamination make it the preferred choice for welding aluminum, magnesium, and their alloys.

2. Types of Zirconium Tungsten Electrode

Grade	Tip Color	ZrO <sub>2</sub> Content (wt.%)	Characteristics & Applications
WZ3	Brown	0.2-0.4	Ideal for low to medium intensity AC welding; cost-effective
WZ38	White	0.7-0.9	Industry-standard grade with excellent overall performance

3. Standard Sizes & Packaging of Zirconium Tungsten Electrode

Diameter (mm)	Length (mm)	Regular Coloring	Packing:
1.0	150 / 175	Black / Gold / Blue	10 pcs/box
1.6	150 / 175	Black / Gold / Blue	10pcs/box
2.0	150 / 175	Black / Gold / Blue	10pcs/box
2.4	150 / 175	Black / Gold / Blue	10pcs/box
3.2	150 / 175	Black / Gold / Blue	10pcs/box
4.0	150 / 175	Black / Gold / Blue	10pcs/box
Remark	The sizes can be customized		

4. Applications of Zirconium Tungsten Electrode

- Welding of aluminum and aluminum alloys: such as doors, windows, frames, and automotive body structures
- Welding of magnesium and magnesium alloys: widely used in aerospace lightweight components
- AC welding of stainless steel (under specific low-current conditions)
- Precision welding in aerospace, rail transit, pressure vessels, etc.
- Used in automated welding systems and robotic torch assemblies

5. Procurement Information

Email: sales@chinatungsten.com  
Phone: +86 592 5129595; 592 5129696  
Website: www.tungsten.com.cn

著作権および法的責任に関する声明

## 再処理

精製されたタングステン粉末とジルコニア粉末は、粉碎、混合、プレス、焼結プロセスを通じてジルコニウムタングステン電極ブランクに再作られます(第8章を参照)。主なパラメータ:

粉碎: 遊星ボールミルを使用して、3-5  $\mu\text{m}$  (タングステン) および 0.1-0.5  $\mu\text{m}$  (ジルコニア) に精製します。

混合: 99.5%の均一性 > V ミキサー。

プレス: 冷間静水圧プレス、圧力 100~200 MPa、ピレット密度 60%~70%。

焼結: 真空焼結炉、温度 1800~2200°C、密度 > 98%理論密度。

## プロセスの利点:

高い回収率: タングステンとジルコニアの複合回収率は 85%~95%に達する可能性があります。

高純度: リサイクル材料は ISO 6848 および GB/T 4187 規格(タングステン純度 > 99.5%)、不純物 < 0.005%)を満たしています。

費用対効果: 回収プロセスのコストは、バージンタングステンの製造コストの約 50%~60%です。

## プロセスの課題:

複雑な廃棄物の分別は困難であり、自動分別技術を最適化する必要があります。

化学精製プロセスでは酸性廃液が発生する場合があります、環境保護のために厳密に管理する必要があります。

## 12.2 ジルコニウムタングステン材料のリサイクルと経済的価値

ジルコニウムタングステン電極のリサイクルは、資源の無駄を削減するだけでなく、大きな経済的価値をもたらします。レアメタルであるタングステンは世界の埋蔵量が限られており(約 350 万トン、2023 年のデータ)、ジルコニウム資源も不足しており、リサイクルは資源圧力を効果的に軽減できます。

## リサイクル経路

直接再利用: 軽度摩耗したジルコニウムタングステン電極(長さ > 50mm、表面汚染なし)は、チップ(角度 45°~60°)を洗浄して再研磨することで、要求の少ない溶接作業に直接使用できます。

粉末再処理: 精製されたタングステン粉末とジルコニア粉末は、WZ3(0.15%~0.4%ZrO<sub>2</sub>) および WZ8(0.7%~0.9%ZrO<sub>2</sub>) グレードのジルコニウムタングステン電極製造に再利用できます。

その他の用途: リサイクルされたタングステン粉末は、超硬合金(WC-Co など)、タングステン鋼、またはタングステンマトリックス複合材料の製造に使用できます。ジルコニアは

### 著作権および法的責任に関する声明

セラミックコーティングや耐火材料に使用できます。

### 経済的価値

コスト削減: タングステン粉末のリサイクルコストはバージンタングステン粉末の約 50% であり、ジルコニアのリサイクルコストはバージンジルコニアの約 60% です。

資源効率: ジルコニウムタングステン電極 1 トンを回収することにより、約 0.9 トンのタングステン鉱石と 0.05 トンのジルコニウム鉱石の採掘を削減でき、採掘コストを削減できます。

市場規模: 世界のタングステンリサイクル市場は、2025 年までに 20 億ドルに達し、年間成長率は約 7% になると予想されています。ジルコニウムタングステン電極のリサイクルは、サブセクターとして市場シェアの 10%~15% を占めると予想されています。

### テクニカルサポート

効率的な精製: 湿式製錬および乾式冶金技術の進歩により、回収効率が向上し、タングステンの回収率は 80% から 90% 以上に向上しました。

循環経済モデル: 閉ループのリサイクルシステムを確立して、収集から再処理までの完全な産業チェーンを形成し、資源の無駄を削減します。

### 課題と解決策

課題: リサイクル材料はバージン材料よりも純度が低く、ハイエンドの電極性能に影響を与える可能性があります。

ソリューション: 多段階精製 (イオン交換 + 蒸留など) により、回収された材料 > 99.9% の純度が保証され、航空宇宙などの要求の厳しい用途に対応します。

リサイクルの経済的価値は、ジルコニウムタングステン電極リサイクル産業の発展を促進し、企業に大きなコストと資源のメリットをもたらしました。

### 12.3 リサイクルプロセスにおける汚染防止および環境保護仕様

ジルコニウムタングステン電極のリサイクルには、廃液、排気ガス、粉塵が発生する可能性のある化学処理と高温処理が含まれ、環境保護規制 (ISO 14001、EU REACH、中国の環境保護法など) を厳格に遵守します。

### 汚染の種類と管理措置

廃液: 湿式製錬における酸性廃液 (硝酸、フッ化水素酸など) には、重金属イオンが含まれている場合があります。

管理措置:

中和処理: 水酸化ナトリウム (NaOH) を使用して、6.5~8.5 に制御された pH で廃液を中和します。

沈殿回収: 凝集剤 (ポリ塩化アルミニウムなど) を添加することで重金属が沈殿し、回収率は >95% です。

リサイクル: 処理された廃液は洗浄プロセスにリサイクルできるため、排出量が削減され

#### 著作権および法的責任に関する声明

ます。

排気ガス: 乾式冶金における塩素 (Cl<sub>2</sub>) またはアンモニア (NH<sub>3</sub>) が漏れ、環境と健康を危険にさらす可能性があります。

管理措置:

排気ガスの吸収: 活性炭または灰汁(NaOH 溶液)を使用して排気ガスを吸収し、排出濃度 <0.1mg/m<sup>3</sup>です。

クローズドシステム: ガス漏れを防ぐための負圧排気装置を装備。

粉塵: 粉碎および破碎中に発生するタングステンおよびジルコニア粉塵は、空気を汚染する可能性があります。

管理措置:

効率的な粉塵除去: バグハウスまたは電気集塵器で 10mg/m<sup>3</sup><粉塵を排出します。

湿式操作: 粉碎および破碎中にウォーターミストを追加して、粉塵の飛散を減らします。

## 環境保護基準

### 国際規範:

ISO 14001: リサイクル会社に対し、環境管理システムを確立し、排出および廃棄物処理プロセスを定期的に監査することを義務付けています。

REACH: 欧州連合は、リサイクルプロセス中に有害物質(六価クロムなど)を使用または排出しないことを義務付けており、ジルコニウムタングステン電極は MSDS(製品安全データシート)を提供する必要があります。

### 国内仕様:

環境保護法: リサイクル企業の廃棄物排出は、総合下水排出基準(GB 8978-1996)に準拠することが義務付けられており、重金属の濃度は 0.1mg/L<です。

固形廃棄物による環境汚染の防止及び管理に関する法律: 二次汚染を防止するため、リサイクルプロセスにおける固形廃棄物(沈殿スラグなど)の適切な処分を義務付けています。

認証要件: リサイクル企業は、市場競争力を強化するために、グリーン製造認証または循環経済認証を取得する必要があります。

### テクニカルサポート

グリーン浄化技術: イオン交換と膜分離技術を使用して、廃液の発生量を削減します (<0.5m<sup>3</sup>/トン)。

廃熱回収: 乾式冶金に廃熱ボイラーを設置して、高温の排ガス熱を回収し、エネルギー消費量を 20%~30%削減します。

自動監視: オンライン監視システム (COD 分析装置、ガス検知器など) を使用して排出量をリアルタイムで監視し、環境基準への準拠を確保します。

厳格な汚染防止と環境保護規制を通じて、ジルコニウムタングステン電極のリサイクルは

#### 著作権および法的責任に関する声明

グリーン生産を達成し、世界的な持続可能な開発要件を満たすことができます。

## 12.4 国内外のジルコニウムタングステンリサイクルの現状と発展動向

ジルコニウムタングステン電極リサイクル業界は、資源不足、環境規制、経済的利益によって急速な世界的な傾向を目の当たりにしています。以下では、国内外の現状と発展動向を分析します。

### 国内状況

リサイクル規模:中国は世界最大のタングステン生産国であり(世界生産量の 80%以上を占め、2023 年には約 60,000 トン)、ジルコニウムタングステン電極リサイクル市場の年間処理量は約 500~1,000 トンで、タングステンリサイクル市場の 10%~15%を占めています。

技術レベル:湿式製錬および乾式製錬技術は成熟しており、回収率は 85%~90%ですが、ナノスケールのジルコニア回収技術はまだ突破する必要があります。

政策支援:「中国製 2025」と「循環経済発展戦略」はタングステン資源のリサイクルを奨励しており、一部の地域(江西省贛州など)では税制上の優遇措置や補助金を提供しています。

課題:リサイクル ネットワークは完璧ではなく、中小規模の溶接企業には体系的な廃電極収集メカニズムがありません。環境保護処理のコストは高いです。

### 国際ステータス

リサイクル規模:世界のタングステンリサイクル市場の年間処理能力は約 15~20,000 トンで、ジルコニウムタングステン電極の回収は約 10%を占め、主にヨーロッパ(オーストリア、ドイツ)と北米に集中しています。

技術レベル:ヨーロッパとアメリカ諸国は、自動選別とグリーン浄化技術をリードしています。

政策主導型:EU の循環経済行動計画と米国の資源保護回収法は、タングステン回収率を高め、一次鉱物採掘を減らすことを求めています。

課題:リサイクルコストが高く、小規模リサイクル企業の競争力が不十分です。

### 開発動向

技術の進歩:

効率的な選別:AI 視覚認識とロボット選別技術により、廃電極選別の効率が向上します(>95%)。

グリーン精製:廃液排出量(0.2m<sup>3</sup>/トン<など)を削減するための無酸湿式製錬技術(生物冶金など)の開発。

ナノスケールのリサイクル:WZ8 などのハイエンド電極の生産ニーズを満たすナノスケールのジルコニア回収技術を開発します。

市場の拡大:

#### 著作権および法的責任に関する声明

新興分野: 新エネルギー源 (風力、水素)、積層造形、宇宙探査の急速な発展により、ジルコニウム タングステン電極の需要が増加し、リサイクル市場の成長が促進されます (2030 年までに 30 億米ドルに達すると予想されています)。

グローバル協力: 廃電極の国境を越えた輸送と処分を促進するために、国際的なリサイクル ネットワークを確立します。

#### 政策支援:

カーボンニュートラル目標: 中国の「2060 年カーボンニュートラル」と EU の「2050 年 ネットゼロエミッション」目標は、グリーンリサイクル技術の普及を促進します。

標準策定: リサイクルプロセスと品質要件を標準化するために、世界的に統一されたタン グステン電極リサイクル規格(ISO 拡張規格など)を策定します。

#### 循環経済モデル:

タングステンおよびジルコニウム資源のライフサイクルを延長するために、「生産-使用- リサイクル-再生」の閉ループシステムを確立します。

使用済み電極をメーカーに返却し、リサイクルコストを削減する「電極レンタル」を推進 します。

ジルコニウムタングステン電極リサイクル産業の継続的な発展は、資源のリサイクルを促 進し、環境への影響を軽減し、業界に大きな経済的利益をもたらすでしょう。



#### 著作権および法的責任に関する声明

## 虫垂

### A. 用語集

**ジルコニウムタングステン電極:** TIG 溶接およびプラズマ切断用のジルコニアをドーピングしたタングステンベースの電極。

**グレード:** WZ3 や WZ8 など、ジルコニウム含有量と性能に応じて分類された電極モデル。

**アーク安定性:** 溶接中に安定したアークを維持する電極の能力。

**点火性能:** 電極がアークを開始するのがどれほど簡単か。

**焼結:** 高温で粉末粒子を緻密な材料に結合させるプロセス。

**ドーピング:** 酸化ジルコニウムをタングステンマトリックスに添加して性能を向上させるプロセス。

**TIG 溶接(タングステン不活性ガス溶接):** 不活性ガス保護を使用したタングステンアーク溶接。

**プラズマ切断:** 高温プラズマアークを使用して金属を切断するプロセス。

**微細構造:** 顕微鏡で観察される電極材料の結晶粒構造と相構造。

**バーンオフ抵抗:** 高温アーク放電下での損失に抵抗する電極の能力。

**ISO 6848:** タングステン電極の分類と要件に関する国際標準化機構規格。

**AWS A5.12:** 米国溶接協会のタングステン電極の仕様規格。

### B. 参考文献

- [1] ISO 6848:2015、アーク溶接および切断—非消耗性タングステン電極—分類。
- [2] AWS A5.12 / A5.12M:2009、アーク溶接および切断用のタングステンおよび酸化物分散タングステン電極の仕様。
- [3] Miller, JR、「TIG 溶接用タングステン電極: 特性と用途」、Welding Journal、2018 年。
- [4] Zhang, L.、「ジルコニウムタングステン電極製造の進歩」、材料科学工学、2020 年。
- [5] Wang, H.、「高性能溶接用のタングステンベースの電極の開発」、Journal of Materials Processing Technology、2019 年。
- [6] Smith, DE、「航空宇宙用途のための溶接技術と材料」、航空宇宙製造、2021 年。
- [7] Chen, Y.、「タングステン電極製造におけるグリーン製造」、Journal of Cleaner Production、2023 年。
- [8] GB/T 4187-2017、タングステン電極。
- [9] Smith, DE、「タングステンベースの材料の粉末冶金技術」、Advanced Materials Processing、2020 年。
- [10] Liu, J.、「タングステン電極製造におけるインテリジェント製造」、Journal of Manufacturing Systems、2022 年。
- [11] YS / T 231-2016、溶接用タングステン電極。
- [12] JB/T 4744-2007、溶接用タングステン電極。
- [13] 世界の再生可能エネルギー見通し、国際エネルギー機関 (IEA)、2023 年。
- [14] 市場分析レポート: 医療用インプラント、グランド ビュー リサーチ、2024 年。
- [15] 中国の循環経済発展戦略、国家発展改革委員会、2021 年。

#### 著作権および法的責任に関する声明